

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

*Посвящается
Всемирному дню авиации и космонавтики*

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'22

XVII Международная конференция
по электромеханике и робототехнике
12–14 апреля 2022 г.

Молодежная секция

Сборник докладов



Санкт-Петербург
2022

3-13 Завалишинские чтения: XVII Международная конференция по электромеханике и робототехнике (СПб., 12–14 апреля 2022 г.). Молодежная секция: сб. докл. СПб.: ГУАП, 2022. 245 с.

ISBN 978-5-8088-1729-6

Помещенные в сборник доклады отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых Институтом инновационных технологий в электромеханике и робототехнике: от проектирования отдельных элементов и устройств, технологий их создания, решения вопросов диагностики и разработки прикладного программного обеспечения до построения сложных систем и комплексов, различных по своему функциональному назначению.

Оргкомитет конференции

Председатель оргкомитета конференции

Ю. А. Антохина – доктор экономических наук, профессор, ректор ГУАП

Председатель программного комитета

В. Ф. Шишлаков – доктор технических наук, профессор, проректор по образовательным технологиям и инновационной деятельности ГУАП

Члены программного комитета:

С. В. Беззатеев – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий защиты информации ГУАП

А. Ометов – доктор технических наук, профессор, директор центра инженерии связи Технологического университета Тампере, Финляндия

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники, директор Инженерной школы ГУАП

Н. Б. Филимонов – доктор технических наук, главный научный сотрудник Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, заместитель заведующего кафедрой, профессор МГУ им. М. В. Ломоносова, профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана

М. И. Хакимьянов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования предприятий УГНТУ

Х. Джири – заместитель вице-руководителя по исследованиям и международным связям, руководитель исследовательской группы WISLAB кафедры телекоммуникаций Технологического университета Брно, Чехия

Л. И. Чубраева – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заведующая лабораторией электроэнергетики Института электрофизики и электроэнергетики РАН, главный научный сотрудник Института химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН

В. А. Ямщиков – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, директор филиала Института электрофизики и электроэнергетики РАН, Москва

УДК 001.08
ББК я73

ISBN 978-5-8088-1729-6

© Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022

УДК 621.314.04

Е. В. Абакумов

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Стоимость жизненного цикла трансформатора учитывает не только его первоначальную стоимость, но и затраты на эксплуатацию и обслуживание в течение всего срока службы. Это требует, чтобы общая стоимость владения рассчитывалась на протяжении всего срока службы трансформатора.

На сегодняшний день актуальной задачей является поиск и принятие решений, содействующих перспективному развитию организации, а также нахождению методов конкурентной борьбы. Существующее перенасыщение рынка многообразными видами продукции и услугами держит предприятия в жестких условиях конкуренции. Они постоянно находятся в состоянии борьбы за рынки сбыта своей продукции, вкладывая инвестиции в развитие инноваций и новых технологий.

Перечисленные факторы приводят к необходимости создания унифицированного информационного инструмента для оценки конкурентоспособности и жизненного цикла продукции предприятий промышленного комплекса, с помощью которого можно оптимизировать технологические процессы, повысить качество продукции и определить перспективные направления развития организации с использованием практически уже классических технологий «Индустрии 4.0» – робототехники, программирования и концепции Интернета вещей.

Предлагаемый способ оценки конкурентоспособности и жизненного цикла продукции представляет довольно развернутый анализ как маркетинговых исследований рассматриваемой промышленной области, так и технического анализа самой продукции, с помощью полной автоматизации промышленных предприятий-партнеров (поставщиков компонентов конечного продукта), которые в свою очередь могут находиться в разных странах. Таким образом, благодаря возможностям киберфизических систем, робототехнических комплексов и соответствующего программного обеспечения возможно построить единую систему оценки конкурентоспособности и контроля жизненного цикла продукции или PLM-систему. Актуальным является вопрос разработки алгоритмов функционирования PLM-системы для предприятий по производству трансформаторов [1].

Этапы анализа и оценки конкурентоспособности

1. Определение конкретной цели:
 - 1) сравнение выпускаемой продукции;
 - 2) определение перспективы товара на рынке.
2. Маркетинговые исследования рассматриваемого рынка. Включают в себя подробную информацию о конкурентах и производимой ими продукции, информацию об изменении запросов потребителей.
3. Перечень параметров продукции, соответствие ГОСТ, ИСО, IPC, МЭК и др.
4. Анализ общих требований:
 - организация должна убедиться, что обладает способностью выполнять требования к продукции и услугам, которые она предлагает потребителям;
 - организация должна проводить анализ, прежде чем принять обязательство поставить продукцию или предоставить услуги потребителям.

Блок-схема алгоритма функционирования PLM-системы оценки конкурентоспособности и жизненного цикла продукции представлена на рис. 1 [2]. Предложенная PLM-система обладает широким интеграционным потенциалом при применении следующих механизмов:

- соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 [3];
- использование инструментов управления качеством (матричная диаграмма, диаграмма разброса) с последующим структурированием функций качества продукции (СФК) – построение так называемого Дома качества;

– расчет единичных и групповых показателей по экономическим и техническим параметрам.

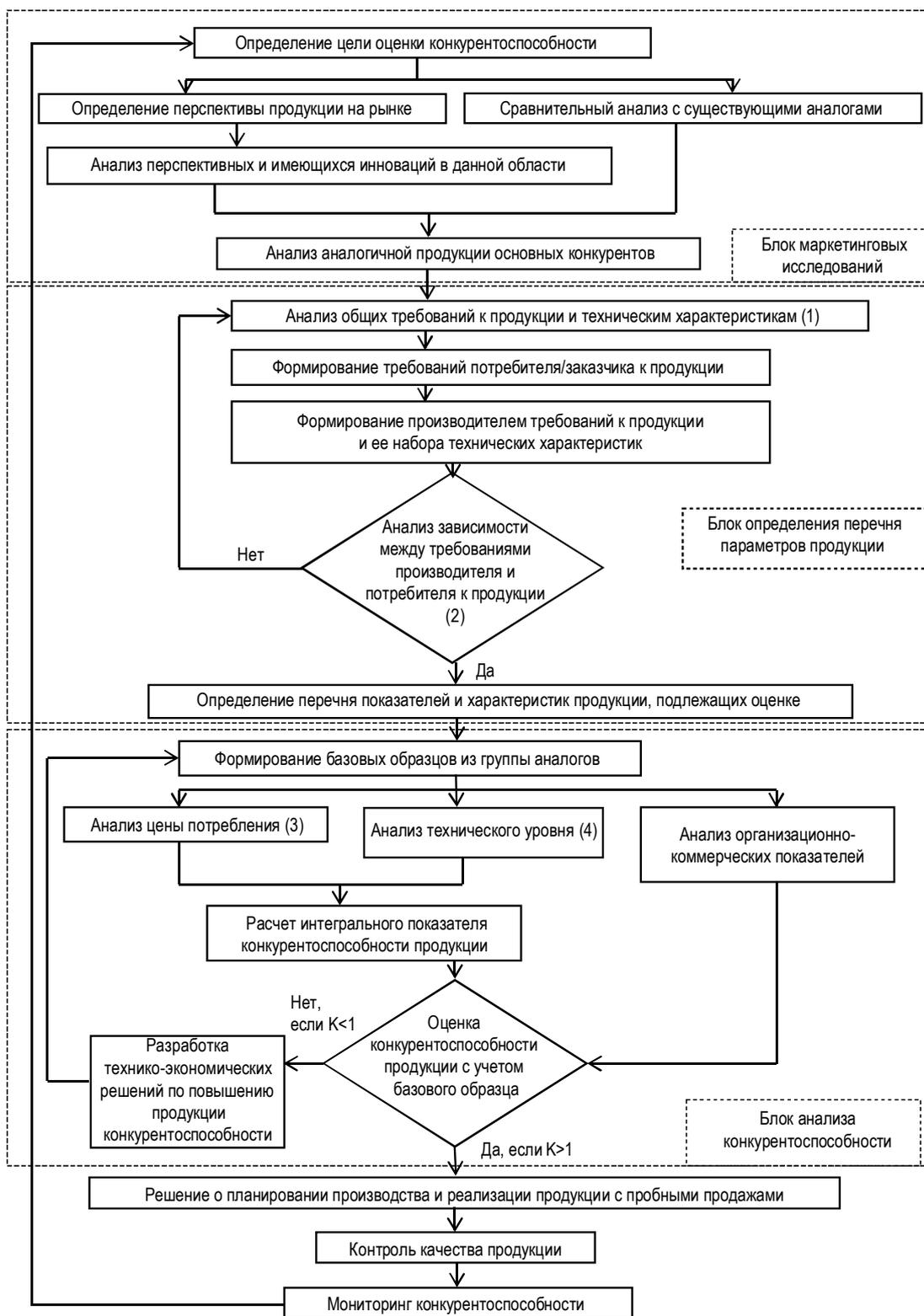


Рис. 1. Блок-схема алгоритма функционирования PLM-системы продукции трансформаторов

На рис. 2 представлен алгоритм анализа, который позволяет снизить риски перед поставкой продукции конечному потребителю с обязательным учетом требований стандартов.



Рис. 2. Алгоритм анализа требований к продукции

После анализа всех имеющихся требований необходимо сформулировать требования к продукции, которые будут определять будущий потребительский спрос.

Подобного рода анализ нужен для того, чтобы уменьшить любое нарушение требований, которое в дальнейшем может привести к определенным материальным и финансовым затратам, а также повышению себестоимости продукции и конечной стоимости для потребителя.

Для выбора базовых образцов сравнения могут быть следующие критерии:

- потребности покупателей (необходимо установить определенные параметры продукции, представляющие ценность и обуславливающие необходимость ее использования для покупателей, а также оценить значимость этих параметров для потребителя);
- конкурирующий товар (выступает в качестве эталона по ключевым параметрам и функциональным возможностям);
- опытный образец (перспективная разработка, отличающаяся новыми возможностями или качественно лучшими характеристиками имеющихся аналогов) [4].

После проведения анализа конкуренции нужно создать модель процесса жизненного цикла производимого продукта (рис. 3).

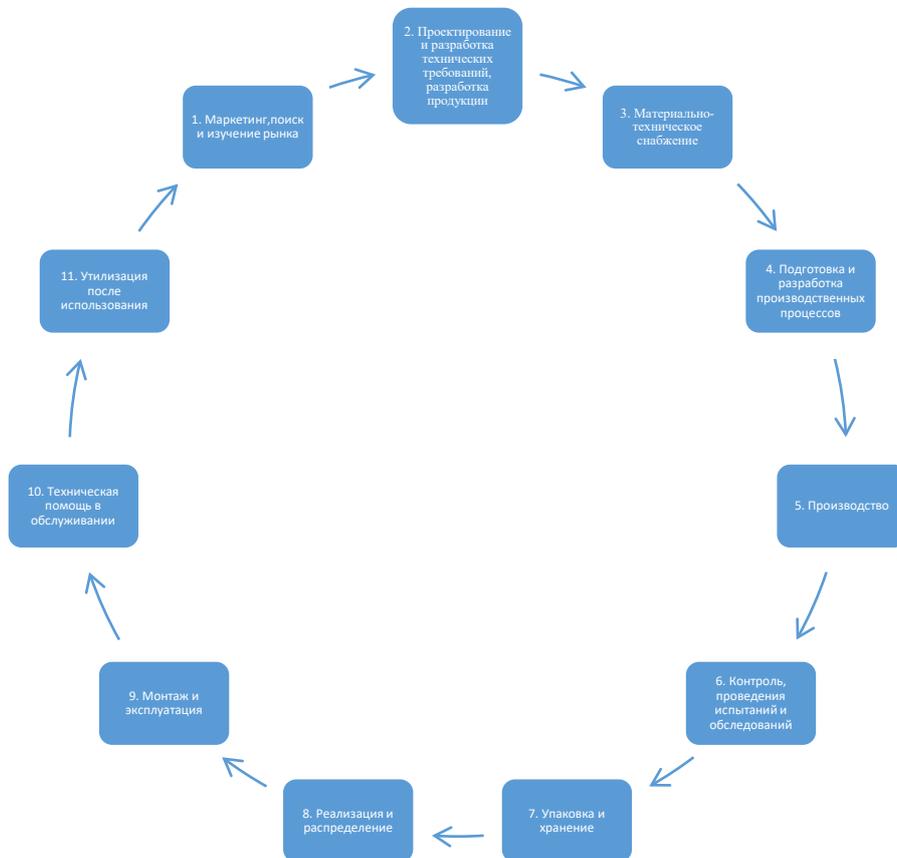


Рис. 3. Процессы жизненного цикла производства трансформатора

Представленная модель жизненного цикла предприятия по производству трансформаторов содержит в себе описание всего процесса жизни трансформатора от идеи производства до обслуживания и утилизации продукта [5].

В будущем планируется повысить функциональность предлагаемой PLM-системы путем внедрения механизмов маркировки изделий внутри предприятий с последующей автоматизацией процесса обновления информации в базе данных продукции, используя сеть Интернет. Для реализации данной задачи предполагается воспользоваться различными метками, в том числе QR-кодами или RFID. В зависимости от особенностей изготовления той или иной продукции способы маркировки могут отличаться и быть комбинированными. Применение универсальных сканеров позволит обновлять информацию автоматически в режиме реального времени. Таким образом, объединение киберфизических, робототехнических и PLM-систем в одну единую систему контроля продукции на этапе ее изготовления и за пределами предприятия позволит ускорить процессы производства трансформаторов с помощью снижения влияния человеческого фактора на качество выпускаемых товаров и услуг.

Библиографический список

1. Utilization of Product Lifecycle Data from PLM Systems in Platforms for Industrial Symbiosis. Friedrich A. Halstenberga, Kai Lindowab, Rainer Stark. *Procedia Manufacturing*. 2017. Vol. 8. P. 369-376. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978917300537> (дата обращения: 12.03.2022).
2. Polyakov S., Solenaya O., Markelova N. Development of Algorithms for the Operation of PLM-System of Electronic // Ronzhin A., Shishlakov V. *Proceedings of 14th International Conference on Electromechanics and Robotics «Zavalishin's Readings»*. Smart Innovation, Systems and Technologies. 2020. Vol. 154. Springer, Singapore.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. М.: Стандартинформ, 2015. 32 с.
4. ГОСТ 30830-2002. Трансформаторы силовые. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2014. 10 с.
5. Digital condition monitoring for smart transformers Intelligent frameworks for transformer diagnostics. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/363228> (дата обращения: 12.03.2022).

УДК 378.147

В. А. Абрашев

ученик 10 класса лицея № 144

А. В. Зенин, А. В. Орловцев, А. А. Солёный, Г. А. Чемоданов – студенты кафедры электромеханики робототехники – научные руководители

ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ

Снижение энергопотребления и рациональное использование энергоресурсов являются актуальными проблемами энергетической отрасли Российской Федерации. Добиться положительных результатов в этом вопросе можно за счет внедрения инновационных способов энергосбережения и реализации организационных мер, направленных на экономию электроэнергии.

Актуальная ситуация с энергосбережением в России

Работа по энергосбережению в России находится на этапе развития. В Европе энергосберегающие технологии были внедрены еще до войны, а наиболее активное развитие пришлось на 1970-е годы, во время активного использования полупроводниковых технологий. В то время многие развитые страны разработали соответствующие законы и нормативные акты, а также ввели правила, сборы и технические меры, направленные на экономию энергии.

В Советском Союзе активно развивался энергетический сектор, все силы были направлены на увеличение производства электроэнергии, но не на энергосбережение и рациональное использование ресурсов. Эффективные меры не были серьезно сформулированы. Поэтому в новом столетии Россия сталкивается с серьезными проблемами в области электроэнергетики. С другой стороны, сегодняшняя Россия обладает огромными потенциальными ресурсами, которые могут быть использованы для успешного повышения энергоэффективности промышленности и домашних хозяйств.

Законодательное обеспечение энергосбережения

Без надлежащего правоприменения внедрение энергосбережения в России невозможно. В последние годы было принято несколько важных законов. Основной из них – Закон № 261-ФЗ «Закон об энергосбережении и повышении энергетической эффективности». В нем излагается необходимость соответствия зданий и сооружений надлежащим требованиям, предлагаются некоторые меры по рациональному использованию энергетических ресурсов. Вводятся ограничения на распределение ламп накаливания до тех пор, пока использование не будет полностью исключено.

Помимо этого, были внедрены возможности субсидирования для содействия энергетической защите России. Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 г.» предусматривает, что к 2020 году энергоемкость ВВП России будет снижена более чем на 40 % по сравнению с 2007 годом, и за этот период будет достигнуто 630 млрд киловатт-часов экономии энергии.

Способы экономии энергии

Развитие энергосбережения в России требует фундаментальных исследований и разработки энергосберегающих технологий, учитывающих национальный климат и специфические особенности промышленных и жилых зданий страны.

В настоящее время в России существуют следующие основные методы энергосбережения.

- усовершенствование производства за счет внедрения энергосберегающих технологий и оборудования;
- увеличение энергоэффективности зданий и сооружений;
- мотивирование потребителей к разумному использованию энергии с помощью организационных и нормативных мер, тарифной политики и субсидий.

Ключевая роль высокоэффективных двигателей и приводов в снижении энергопотребления

Организация Объединенных Наций прогнозирует, что к 2050 году городское население мира увеличится примерно до 68 %. Если мы ничего не предпримем, этот рост ускорит изменение климата и снизит качество воздуха и воды. Чтобы защитить окружающую среду, не сдерживая экономический рост, мы должны удвоить наши усилия по сокращению потребления энергии и природных ресурсов. Мировые тенденции показывают, что спрос на электрическое управление движением, такое как приводные системы, приводимые в действие электродвигателями, значительно возрос. Согласно данным Международного энергетического агентства на промышленность приходится 37 % мирового потребления энергии и 24 % глобальных выбросов углекислого газа, в то время как на строительную отрасль приходится около 30 % потребления энергии и 28 % выбросов углекислого газа. Большая часть этого вида деятельности связана с электродвигателями. Подсчитано, что около 70 % электроэнергии, потребляемой промышленностью, используется электродвигателями, а в коммерческих зданиях они потребляют 38 % всей электроэнергии [1].

Важная роль частотно-регулируемых приводов

Когда высокоэффективные двигатели сочетаются с частотно-регулируемыми приводами, можно достичь большей эффективности. Частотно-регулируемый привод управляет двигателем и регулирует скорость и крутящий момент двигателя в соответствии с требованиями к нагрузке системы. В процессе создания любой электроэнергетической системы необходимо учитывать энергоэффективность каждого ее элемента, использовать современные компоненты, которые позволяют отслеживать входные и выходные значения в реальном времени. Частотно-регулируемый привод необходим для мягкого пуска электродвигателя, ограничения пусковых токов, синхронизации момента силы на валу с моментом нагрузки, осуществления точной регулировки скорости вращения, подключения трехфазных двигателей в однофазную сеть без конденсаторов. На сегодняшний день, благодаря достижениям в области электроники, преобразователь частоты имеет компактное исполнение, пыле- и влагозащищенный корпус, удобный и понятный интерфейс. Несмотря на эти положительные стороны, внедрение по-прежнему идет медленно. Подсчитано, что только 23 % промышленных двигателей в мире в настоящее время оснащены приводами с преобразованием частоты. Ожидается, что в ближайшие пять лет этот показатель вырастет до 26 %. Увеличение темпов внедрения таких технологий может привести к существенной экономии электроэнергии.

Большая часть современных частотных преобразователей построено на базе схем двойного преобразования. Такое техническое решение имеет следующие преимущества:

- регулировка частоты;
- выходное напряжение чистой синусоидальной формы;
- отсутствие высших гармоник;
- плавное, высокоточное регулирование частоты питающего напряжения двигателя.

Влияние цифровизации

Сегодня существуют технологии, позволяющие дистанционно контролировать, анализировать и изменять работу электрических машин при помощи беспроводных датчиков.

В системе ОВКВ сложного промышленного предприятия или крупного здания генерируемые данные могут способствовать оптимизации технологических процессов и значительно повысить энергоэффективность и эффект энергосбережения. Частотно-регулируемые приводы, с использованием беспроводных датчиков позволяют управлять двигателем удаленно, что повышает интеллектуальность системы, оптимизирует настройки и экономит энергию. Данные, передаваемые датчиками, можно сравнить с номинальными, рассчитать наиболее эффективный сценарий работы и затем использовать для изменения параметров всей установки в режиме реального времени [2].

Контроль качества электрической энергии

Контроль качества электроэнергии представляет собой комплекс мер, обеспечивающих объективную оценку качественных показателей электроснабжения. Такой мониторинг осуществляется на базе соответствующих технологий и оборудования.

Качество электроэнергии – одно из основных понятий в электроснабжении. Снижение показателей качества электроэнергии (ПКЭ) приводит к таким проблемам, как:

- увеличение потерь энергии в сетях;
- перегрев электродвигателей и вращающихся машин, приводящий к ускоренному старению изоляции и возможной аварийности в результате однофазных КЗ и их перехода в многофазные замыкания;
- увеличение потребления ЭЭ и требуемой мощности оборудования;
- сбои и ложные срабатывания автоматики и устройств релейной защиты;
- сбои управляющей электроники, вычислительной техники и т. д.;
- появление помех теле- и радиооборудованию, сбои рентгеновского оборудования;
- некорректная работа электросчетчиков.

Осуществление мониторинга

Качество электрической энергии имеет различные параметры. Важными являются характеристики, которые зависят от технологии генерации, передачи, распределения, передачи и потребления энергии. К этим значениям (1 группа) относят: отклонения напряжения и частоты, несимметрию и колебания напряжения, отклонения от синусоидальной формы кривой напряжения.

Другой тип показателей характеризует кратковременные помехи, которые возникают в результате коммутационных процессов, атмосферных и грозových явлений, работы защитного оборудования и автоматики, а также послеаварийных режимов. К числу этих характеристик (2 группа) относят провалы, импульсы напряжения, кратковременные перерывы электроснабжения.

ГОСТ устанавливает допустимые значения для ПКЭ первой группы. ПКЭ второй группы не нормируются.

Анализ качества электроэнергии осуществляется путем измерения ПКЭ и соотнесения их с допустимыми значениями. Для этих целей используются системы мониторинга управления качеством электроэнергии (СМиУКЭ). Основными элементами таких систем являются анализаторы качества электроэнергии.

Система контроля качества электроэнергии осуществляет измерение нормируемых ПКЭ, обрабатывает результаты измерений, накапливает и систематизирует данные. Также обеспечивается формирование отчетов и предоставление аналитической информации, на основе которых разрабатываются мероприятия по повышению качества электроэнергии [3].

Заключение

Внедрение и использование инновационных технологий в электроэнергетическую отрасль является важной задачей, решение которой позволит повысить эффективность использования энергоресурсов, увеличить энергоэффективность электрооборудования. Развитие электроэнергетики – это путь, который позволит стабилизировать экологическую обстановку, уменьшить экономические потери и предотвращать аварийные ситуации.

Библиографический список

1. Энергосбережение в России. URL: <http://www.ackye.ru/uchet-elektroenergii/energoberezhenie-v-rossii/> (дата обращения: 25.03.2022).
2. Ключевая роль высокоэнергоэффективных электродвигателей и приводов в сокращении энергопотребления URL: <https://resources.news.e.abb.com/attachments/published/75994/ru> (дата обращения: 25.03.2022).
3. Современные технологии энергосбережения. URL: <http://www.ackye.ru/uchet-elektroenergii/tehnologii-energoberezheniya> (дата обращения: 25.03.2022).

УДК 621.31

А. И. Алеворян

бакалавр кафедры электротехники и электрооборудования предприятий*

Р. Т. Хазиева – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель*

*Уфимский государственный нефтяной технический университет

ПРИМЕНИМОСТЬ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Автоматизированная газораспределительная станция (АГРС) предназначена для снижения высокого давления природного или искусственного газа при снабжении небольших населенных пунктов, совхозных и колхозных поселков на ответвлениях от магистральных газопроводов (МГ) до определенного установленного низкого значения давления, а также для поддержания этого значения. АГРС учитывает необходимую степень очистки газа и измеряет расход потребителей.

Ниже будут приведены основные функции АГРС [1]:

- очистка газа от остатков в нем капель жидкости и механических примесей с автоматическим сбросом конденсата;
- подогрев газа перед снижением его давления и поддержание данной температуры для обеспечения безопасной работы оборудования;
- редуцирование газа;
- измерение расхода газа потребителем;
- одоризация газа;
- автоматическое управления режимами работы технологического оборудования станции;
- звуковое и аварийное оповещение при чрезвычайных ситуациях.

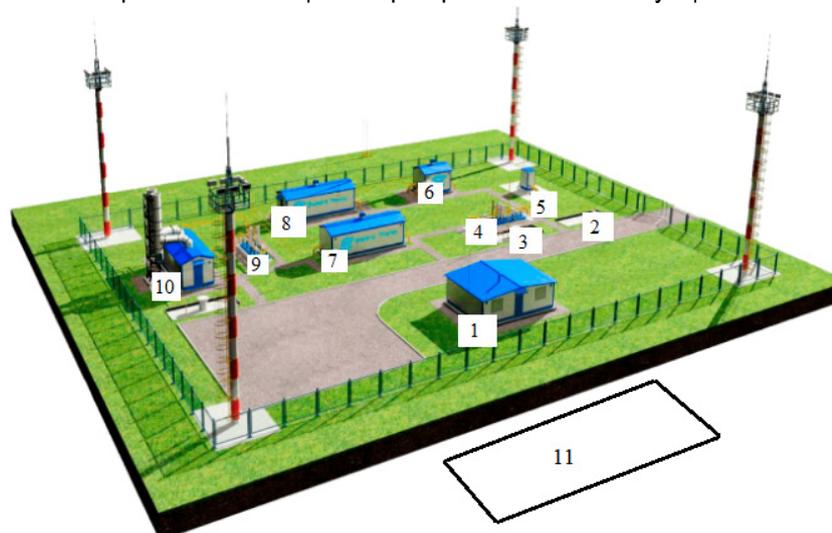


Рис. 1. Вид исполнения АГРС: 1 – блок операторная; 2 – емкость одоранта; 3 – емкость конденсата; 4 – блок (узел) очистки газа; 5 – блок (узел) одоризации газа; 6 – блок (узел) переключения; 7 – блок (узел) учета расхода газа; 8 – блок (узел) редуцирования газа; 9 – блок (узел) подогрева газа; 10 – блок подготовки теплоносителя; 11 – предварительное место установки ветро-солнечной установки [1]

Обеспечение электроснабжения будет происходить за счет гибридной электроустановки (ГЭУ) на основе ветро-солнечной электростанции для того, чтобы обеспечить все этапы функционирования АГРС.

Такое сочетание ГЭУ для АГРС позволит использовать энергию солнца и ветра в течение календарного года практически при любых погодных условиях:

- когда нет источника энергии от солнца, но есть ветер, основным источником электроэнергии будет ветрогенераторная установка;

- при солнечной погоде не исключается ситуации при отсутствии ветра и тогда источником будут являться солнечные панели;
- при отсутствии ветра и солнца питание будет осуществлять накопленной энергией в аккумуляторных батареях (АБ).
- при отсутствии электроэнергии электроснабжение будет исходить от резервного источника питания – дизельной электростанции (ДЭС).

Система электроснабжения с данной конфигурации будет состоять из следующих элементов:

- ветроэнергетическая установка;
- солнечные ячейки;
- ДЭС;
- АБ;
- инвертор;
- контроллер.

Мощность ДЭС будет установлена в соответствии с расчетной мощностью АГРС с учетом всех режимов работы электрооборудования станции.

Если проанализировать территорию России и наложить друг на друга зоны солнечной и ветровой активности (рис. 2, 3), можно сделать вывод, что наиболее выгодная локация для ГЭУ – это средняя полоса России (рис. 4).



Рис. 2. Зоны среднегодовой ветровой активности России [2]



Рис. 3. Зоны среднегодовой солнечной активности России [3]



Рис. 4. Приблизительная зона для установки ГЭУ на территории России



Рис. 5. Ветро-солнечная электростанция WinSolStation [4]



Рис. 6. Дизельный генератор CHAMPION DG10000E-3 [5]

Основные технические характеристики ветро-солнечная электростанция WinSolStation [4]

Напряжение, В	24
Запас энергии при 100 % АБ, А * ч	600
Энергия станции, Вт * ч	12 000
Мощность ФЭП*, Вт	500
Мощность ветрогенератора, Вт	600
Форм – фактор	Ветрогенератор, АКБ и ФЭП на опоре
Тип	Ветро-солнечная
Вес, кг	533

*ФЭП – фотоэлектрический преобразователь.

Техническая характеристика дизельного генератора CHAMPION DG10000E-3 [5]

Тип	дизельный
Запуск	электрический, ручной
Тип генератора	синхронный
Номинальная мощность, Вт	12 500
Максимальная мощность, Вт	13 750
Объем двигателя	954 см ³
Мощность двигателя	17 лошадиных сил

Таким образом, внедрение ГЭУ способствует небольшому уменьшению загрязнения окружающей среды, уменьшая выработку для удаленных объектов на традиционных электростанциях. Однако с другой стороны ГЭУ может навредить всему комплексу АГРС, а это недопустимо, так как должна быть обеспечена бесперебойная работа поставки газа.

Необходим постоянный мониторинг за ГЭУ и оценка их применимости для продолжения их внедрения и актуализации, улучшения их технических характеристик, а также разведка эффективных зон применения ГЭУ.

Библиографический список

1. ЭНЕРГО ГРУПП. АГРС. URL: <https://enggp.ru/catalog/agrs/?description> (дата обращения: 10.02.2022).
2. НИПОМ. Возобновляемые источники энергии в энергетике газовой отрасли. URL: <https://nipom.ru/blog/news/massmedia/vozobnovlyayemye-istochniki-energii-v-energetike-gazovoy-otrasli-2/?page=2> (дата обращения: 10.02.2022).
3. Solar – В Energy. URL: <https://solar-b-energy.ru/nashi-predstavitelstva/> (дата обращения: 10.02.2022).
4. SOLAR MANBLAN. WinSolStation. URL: https://solar.manblan.ru/catalog/komplekty_elektrostantsiy/vetrosolnechnye_stantsii/19284/ (дата обращения: 10.02.2022).
5. Яндекс. Маркет. URL: https://market.yandex.ru/product--dizelnyi-generator-champion-dg10000e-3-13750-vt/14201508?text=%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B8&cpc=AKi4JWxEeQvUL4rtM28w40OPw1aS4GpgkM9fK9ahMecqYiHVif2j-pSi-flMmer4obUp6c4D1owqrFllRreF3ZpNKvNHR7_iBh0JOP_a2u7c6gFUdXCBVTn5UJ1-PQTFrlmr9oq9dkuhZ0sLatvRww3Ernw2mjbSo4Fbd0sSG2NuYzkU2qjwyAsq_ZbPzoqD&sku=14201508&do-waremd5=C4pYcu_uRIUHwobWwlp08Q&cpa=1&nid=56410 (дата обращения: 10.02.2022).

УДК 621.313

И. А. Антонов

ученик 10 класса ГБОУ СОШ № 301

М. И. Заикин, В. А. Шабанов – магистранты кафедры управления в технических системах – научные руководители

КОЛЛЕКТОРНЫЕ И БЕСКОЛЛЕКТОРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Введение

В XXI веке большое распространение получили беспилотные авиационные системы. Такие аппараты постепенно находят свое применение в различных областях деятельности человека. Как известно, одним из важнейших узлов беспилотного летательного аппарата (БПЛА) является двигатель. На промышленных и военных аппаратах в основном используются двигатели, работающие на топливе. Например, военно-разведывательные БПЛА «Орлан» и «Орион» работают на двигателях внутреннего сгорания. Однако в последние годы все больше стали разрабатывать БПЛА на основании электродвигателей. Преимуществами таких двигателей являются высокий коэффициент полезного действия (КПД), малый по отношению к двигателям, работающим на топливе, а также вес и отсутствие необходимости добавления резервуара для топлива. Далее будут рассмотрены два вида электромоторов: коллекторный и бесколлекторный.

Коллекторный электродвигатель

Простейший коллекторный мотор состоит из двух основных частей – ротора и статора. В таком моторе статором являются обычные магниты, обеспечивающие постоянное магнитное поле. Ротор, он же якорь, устроен сложнее. Основной деталью ротора является коллектор, на котором расположено некоторое количество коллекторных колец, выполненных чаще всего из меди марки М1. Кольца соединяются катушкой, проходящей между магнитами и попадающей в их магнитное поле. Как правило, катушки находятся в пазах. С помощью щеток на кольца подается электрический ток, в результате чего вращается коллектор. В центре коллектора расположен вал, выведенный наружу мотора [1]. Строение коллекторного двигателя представлено на рис. 1.

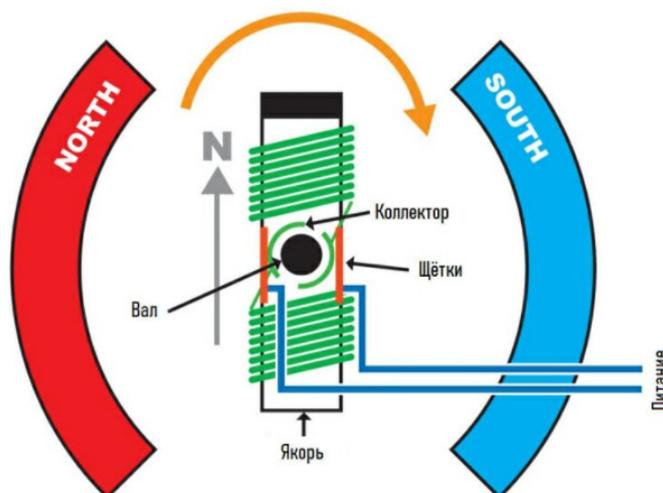


Рис. 1. Схема устройства коллекторного электродвигателя

Главными минусами подобных моторов является то, что в результате трения щеток об коллектор появляются искры, что может приводить к сбоям радиоаппаратуры, а также то, что щетки со временем выходят из строя и могут отказать прямо во время полета. Это может привести к утрате летательного аппарата и вызвать задержки в сроках выполнения поставленной задачи. Немаловажной

проблемой является сильный нагрев мотора. Для решения этой задачи производители делают вырезы на корпусе двигателя. Однако из-за этого он становится уязвимым к попаданию воды через отверстия, что может вызвать короткое замыкание и выход аппарата из строя [2].

Бесколлекторный электродвигатель

Бесколлекторный, он же бесщеточный, мотор устроен иначе. У подобных моторов отсутствуют коллектор и, соответственно, щетки. Подобные моторы бывают двух видов: с внешним или внутренним ротором. Здесь, в отличие от коллекторного мотора, катушки находятся на статоре, а магниты располагаются на роторе. Магниты притягиваются к катушке с противоположным полюсом, после чего катушка меняет свою полярность, при этом полярность следующей катушки также изменяется, и далее магнит притягивается уже к ней [3]. Строение бесколлекторного двигателя представлено на рис. 2.

Бесколлекторные двигатели более актуальны для установки в беспилотные летательные аппараты, так как не имеют основных недостатков коллекторных двигателей (отсутствие искрения от трения щеток об коллектор). Такие двигатели уже устанавливаются в большую часть гражданских БПЛА, построенных по принципу мультикоптера – малого беспилотного летательного аппарата на дистанционном управлении с тремя и более несущими винтами, находящимися в одной плоскости.

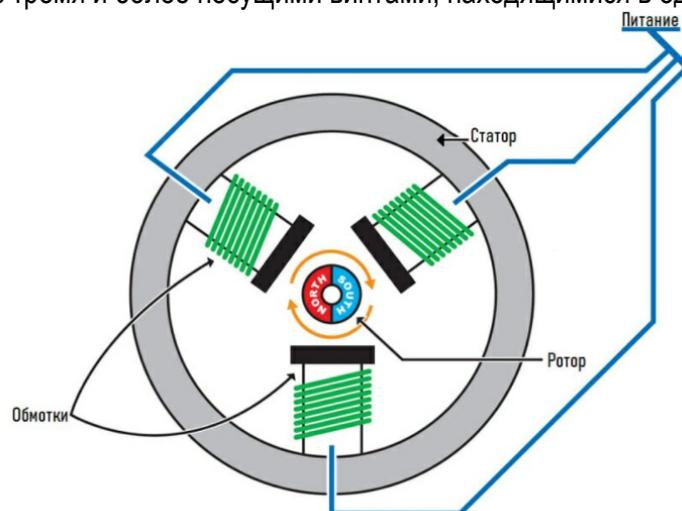


Рис. 2. Схема устройства бесколлекторного электродвигателя

Для правильного направления тока используется электронный контроллер, который использует датчик положения ротора. Чаще всего в качестве такого датчика используется датчик Холла. Схема подключения электродвигателя с датчиком Холла представлена на рис. 3 [3].

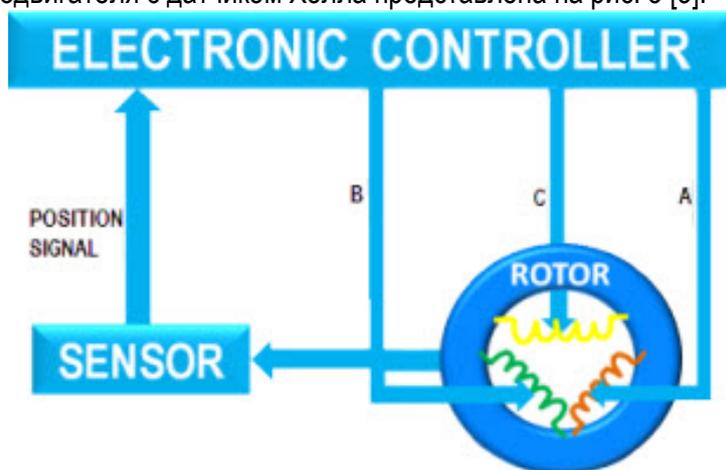


Рис. 3. Схема подключения бесколлекторного электродвигателя к контроллеру и датчику Холла

Несомненным плюсом бесколлекторного мотора является отсутствие щеток, что решает проблему их износа и искрения. Основная проблема данного мотора заключается в том, что вал ротора крепится на подшипник, который может изнашиваться. Но данный элемент, как правило, имеет большой ресурс прочности, а при выходе из строя легко взаимозаменяем. Кроме того, бесколлекторный двигатель обладает рядом других преимуществ по сравнению с коллекторным. В его конструкции отсутствует коллекторный узел, за счет чего конструкция упрощается. Поэтому бесколлекторный электродвигатель обладает меньшими весом и размерами при аналогичной мощности. Помимо этого, за счет отсутствия коллектора значительно возрастает ресурс двигателя. Отсутствие искрения между коллектором и щетками благоприятно влияет на помехоустойчивость системы управления аппаратом, что позволяет работать в воспламеняемой и взрывоопасной среде.

Бесколлекторные двигатели эффективно работают в более широком диапазоне оборотов по сравнению с коллекторными электродвигателями, а также имеют большую перегрузочную способность. За счет того, что у бесколлекторного электродвигателя высокий уровень коэффициента полезного действия – более 90 %, достигается большая продолжительность полета БПЛА. Высокие значения крутящего момента бесколлекторного электродвигателя позволяют отказаться от использования редуктора и обеспечивают возможность использования непосредственного соединения двигателя и пропеллера, что способствует уменьшению веса и, соответственно, увеличению грузоподъемности БПЛА.

Основным недостатком бесщеточного мотора является необходимость применения специальных регуляторов – драйверов, без которых двигатель нельзя запустить. Из-за этого растет стоимость его эксплуатации по сравнению с более дешевыми коллекторными двигателями [4].

Заключение

Использование беспилотных летательных систем с установленным коллекторным мотором подходит в условиях сухого климата и на малых дистанциях, также при выборе этого типа двигателя стоит учитывать его недолговечность. Беспилотные летательные системы с бесколлекторными моторами надежнее, менее требовательны в обслуживании и более влагоустойчивы. Также проектирование БПЛА с бесколлекторным электродвигателем позволяет добиться преимуществ в массе, дальности полета, устойчивости к неблагоприятным условиям внешней среды по сравнению с использованием коллекторного электродвигателя.

Библиографический список

1. Технология сборки и обработки коллекторов электродвигателей постоянного тока. URL: <http://elektromashina.com/article/tehnologiya-sborki-i-obrabotki-kollektorov.html> (дата обращения: 25.03.2022).
2. Уразбахтин Р. Р. Двигатели для беспилотных летательных систем // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 2. С. 142–144.
3. Brushless DC Motor. How it works? URL: <http://plcvnpro.blogspot.com/2015/11/brushless-dc-motor-how-it-works.html> (дата обращения: 25.03.2022).
4. Санатуллин М. Р., Гаврилова С. В. Применение бесколлекторных электродвигателей в беспилотных летательных аппаратах // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание. 2019.

УДК 621.314.224.8

А. А. Архипов

студент кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТОКА НА ПОДСТАНЦИЯХ

Микропроцессорные устройства, обладающие огромными и перспективными преимуществами над микроэлектронными и электромеханическими, нашли широкое применение во многих отраслях, в том числе в электромеханике и робототехнике. А инновационные технологии в усовершенствовании систем автоматизации, учета электроэнергии и управлении в энергетике способствуют более активному и эффективному их применению.

В приоритете проектирование трансформаторов с иным образом работы, с учетом того, что финальные измерения должны формироваться на выходе измерительного трансформатора в виде цифрового потока. Использование последних разработок и новых технологий в сфере электроники и вычислительного оборудования будет способствовать скорейшему их внедрению в промышленности.

Стандарт МЭК 600448 на электронные трансформаторы тока разработан в России в 2010 году и распространяется на вновь изготовленные электрические трансформаторы тока (ЭТТ), имеющие аналоговый или цифровой выход и предназначенные для использования с электрическими измерительными приборами и электрическими защитными устройствами при номинальных частотах от 15 до 100 Гц [1].

Принцип и особенности работы цифрового трансформатора тока

Основной принцип действия трансформаторов заключается в изменении силы переменного и постоянного тока, которое происходит с использованием первичных преобразователей, работающих на основе законов полного тока, Ома, электромагнитной индукции и гальваномагнитных свойств.

Выходные сигналы преобразователей обрабатываются электронным блоком (ЭБ) на первичной стороне, потом происходит создание пакетов данных и трансфер их на вторичную сторону при помощи кабелей на ЭБ. Далее на ЭБ вторичной стороны происходит обработка пакетов данных и после этого отправка их по кабелю приборам автоматизации, релейной защиты, учета энергии и другому оборудованию подстанции.

Цифровые трансформаторы тока (ЦТТ) обеспечивают вывод второстепенных служебных сведений о характеристиках измерительных электрических сигналов и переносимой электрической энергии, в том числе сведения, окружающие их.

Обмен данными ЭБ с системой точного времени происходит двумя способами: по стороннему стробирующему сигналу 1PPS и по данным синхронизации через протокол PTP. Смонтированные на единой изоляционной колонне, пара первичных измерительных преобразователей тока на участке повышенного напряжения размещаются в ЦТТ с резервированным исполнением. Еще одним способом отправки данных являются протоколы PRP и HSR.

Принципы измерения

Ключевым компонентом измерительных счетчиков является датчик тока. Существует ряд функциональных приборов для реализации преобразователя тока. Шунтирующий резистор (рис. 1) является лучшим выбором из-за его низкой стоимости и хорошей линейности, но при этом он имеет ряд недостатков. Из-за правил, касающихся максимального энергопотребления (2 Вт на фазу в соответствии с МЭК 62053-21:2003), его сопротивление ограничено несколькими сотнями мкОм. Такое низкое значение приводит к небольшим вторичным напряжениям при низких первичных токах [2]. При этом они должны быть тщательно отфильтрованы и усилены, чтобы обеспечить заданную точность измерителя при низком уровне тока.

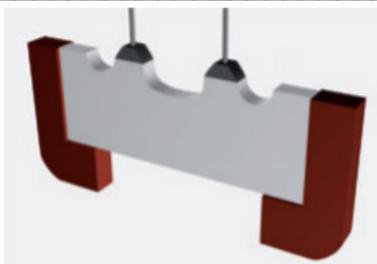


Рис. 1. Шунтирующий резистор

Рассеивание тепла внутри счетчика – еще один критический момент, который необходимо учитывать. В случае многофазных счетчиков или однофазных с внешним интерфейсом необходимо предусмотреть дополнительное гальваническое разделение (рис. 2) для предотвращения опасной работы или короткого замыкания между фазами.

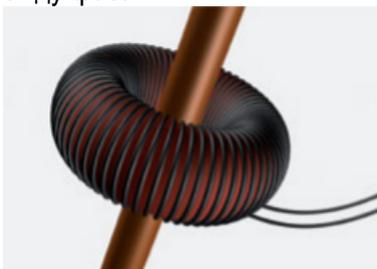


Рис. 2. Безопасное гальваническое разделение

В большинстве случаев при таком решении дополнительно потребуются оптроны и разделительные трансформаторы, что увеличивает общую стоимость счетчика.

Еще одним способом измерения силы тока является катушка Роговского (рис. 3), при использовании которой не проявляется эффект насыщения, поскольку отсутствует сердечник.



Рис. 3. Катушка Роговского

Недостаток этого способа является общим для всех разомкнутых магнитных цепей – наличие различного рода помех при измерениях. Необходимо обеспечить дорогостоящее экранирование, чтобы погрешности измерений были небольшими при низких первичных токах. Конструкции, использующие устройства с датчиками Холла (рис. 4), должны быть четко разделены: недорогие типы могут страдать от эффектов старения, которые со временем могут ухудшить точность; стабилизированные конструкции будут контролировать эти эффекты, но за счет сложной схемы компенсации.

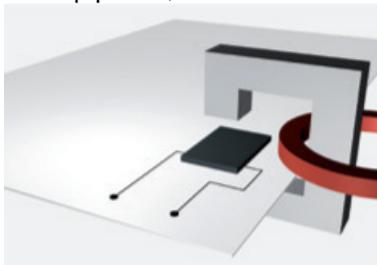


Рис. 4. Датчик Холла

Принцип схемотехники

Ошибки фазы и амплитуды имеют решающее значение для точности измерения электроэнергии при использовании трансформаторов тока. С измерителями средней точности без допущения по постоянному току оба имеют очень низкие абсолютные значения и поэтому могут быть легко компенсированы простой коррекцией в схеме.

Трансформаторы тока с допуском по постоянному току обладают особенностью относительно высокого значения абсолютной погрешности фазы при высокой постоянности, в то время как амплитудная погрешность пренебрежимо мала. Это приводит к ошибке измерения энергии, которая изменяется только незначительно с первичным током и который принимает недопустимо высокие значения при сложных нагрузках (например, индуктивная нагрузка $\cos\phi = 0,5$), если ошибка фазы тщательно не компенсируется.

Поскольку разброс вторичной индуктивности L не может быть уменьшен по желанию, ошибка фазы отдельного трансформатора тока рассеивается в той же степени. Поэтому рекомендуется проводить индивидуальную коррекцию, чтобы оставаться в пределах погрешности. Это может быть выполнено с помощью подходящего цифрового сигнального процессора DSP, который настраивается цифровым способом на трансформатор тока при калибровке, выполняется при одном значении тока. Особенно высокая точность может быть достигнута в случае, когда кривая фазовой погрешности измеряется при нескольких токах и аппроксимируется между ними для коррекции. Это часто невозможно или возможно только в определенной степени в устройствах с DSP простой внутренней структуры. Здесь коррекция возможна с помощью RC-низкочастотного преобразователя, подключенного последовательно с аналоговым входом для измерения тока.

Виды подключения

Установка трансформаторов тока в трехфазных сетях с изолированной нейтралью (то есть сети напряжением 6–10–35 кВ) имеет свои особенности. Нередко она осуществляется только на двух фазах (А и С). Обусловлено это тем, что данные сигналов тока в фазе без трансформатора тока будут образовываться фиксированием значений в фазах А и С, а также тем, что в сетях, напряжение которых 6–35 кВ нет нулевого провода. В сетях с глухо заземленной нейтралью (напряжение в сети до 110 кВ) и сетях с эффективно заземленной нейтралью (напряжение в сети 110 кВ и выше) трансформаторы тока используются во всех трех фазах.

При сборке в три фазы вторичные обмотки трансформаторов тока соединяются при помощи схемы «Звезда», при сборке в две фазы – «Неполная звезда» (рис. 5). Схема «Треугольник» используется для дифференциальных защит силовых трансформаторов с электронными реле. Иногда в целях экономии измерительных составляющих в схемах защиты используют схему «На разность токов двух фаз» [3].

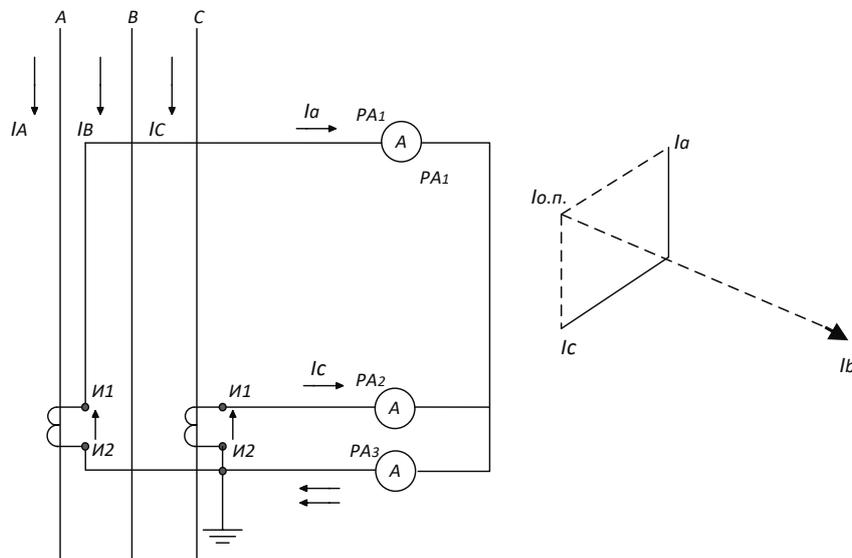


Рис. 5. Схема подключения трансформаторов тока в неполную звезду

Защита от внешних магнитных полей

В последние годы регулирующие органы по проведению электрических измерений ввели требования, касающиеся гораздо более сильных полей, чтобы также учитывать их потенциальное вмешательство в работу счетчиков. Эти требования привели к изменению конструкции счетчиков, например, к герметизации чувствительных компонентов счетчика от сильных редкоземельных магнитов с использованием магнитного экранирования [4]. Однако необходимо понимать, что не только постоянные магниты, но и катушки, создающие магнитные поля переменного тока, потенциально могут быть использованы для вмешательства.

Для каждого метода измерения также доступны контрмеры, такие как магнитное экранирование. В долгосрочной перспективе конкуренция между такими факторами, как увеличение размеров магнитов и усилий по экранированию, не может быть выиграна ни одной из участвующих сторон, но значительно увеличивает стоимость счетчика. Также рекомендуется внедрить электронные средства для обнаружения попыток взлома и принятия соответствующих мер внутри электроники и системы связи счетчика, сохраняя при этом приведенные выше спецификации требований к помехозащищенности в полевых условиях. Например, внешние магнитные воздействия с экстремальной напряженностью поля, четко указывающие на попытки взлома, могут быть обнаружены экономичными электронными датчиками и генерировать сигнал тревоги на передней панели. Кроме того, следует сохранять состояние тревоги в памяти данных счетчика и, если установлен модуль обмена данными, отсылать через интерфейс передачи данных на сайт сбора и оценки данных поставщика энергии.

Заключение

Обычные трансформаторы на основе железных сердечников вносят погрешности в измерения. Из-за широкого динамического диапазона сигналов тока в энергосистемах трансформаторам тока для защиты требуются большие сердечники, чтобы избежать насыщения в условиях сбоя. Однако из-за свойств материала магнитного сердечника они создают значительные погрешности при номинальном токе, что делает их непрактичными для целей измерения.

В ближайшие годы «Умные сети» приобретут все большие масштабы применения и электронные счетчики электроэнергии будут все чаще подключаться к электрической сети для обеспечения точных измерений, включая дистанционное считывание показаний счетчика в режиме реального времени. При этом электронные счетчики электроэнергии должны иметь возможность связи с гарантированной безопасностью при передаче данных. Поэтому исследования, направленные на изучение особенностей проведения измерений режимных параметров в электрических сетях при помощи цифровых счетчиков, позволят расширить их функционал и повысить энергоэффективность работы сети.

Библиографический список

1. Трансформаторы измерительные. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293792/4293792761.pdf> (дата обращения: 04.03.2022).
2. ГОСТ. URL: https://www.elec.ru/viewer?url=/library/gosts_p32/gost_r_52322-2005.pdf (дата обращения: 04.03.2022).
3. Измерительные трансформаторы напряжения. URL: <http://www.elecmet.ru/production/electric/transformators/measuring-trans-voltage> (дата обращения: 04.03.2022).
4. Экранирование электрических и магнитных полей. URL: http://vak.rutgers.edu/Chapters_T4/040_080%20Гл.3%20Экранирование%20электрических%20и%20магнитных%20полей.pdf (дата обращения: 06.03.2022).

УДК 621.865.8

А. П. Бабошин

студент отделения автоматизации и робототехники*

А. А. Филипас – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет

ФИЗИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Целью работы явилась разработка компактной физической установки для исследования тяговых характеристик винтовых движителей малых беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) (согласно классификации AUVSI) [1] с возможностью протоколирования значений тяги при различных режимах токопотребления, для составления и уточнения математических моделей винтовых движителей на основании экспериментальных данных.

Введение

Отрасль беспилотных летательных аппаратов активно интегрируется во многие сферы деятельности человека, и темпы развития рынка дронов не перестают расти. Согласно данным «АЭРО-НЕТ» к 2025 году объем Российского рынка БПЛА составит более 2,5 млн устройств, и общая капитализация превысит 10 млрд рублей [2]. Так как основой функционала дрона – способность к перемещению, для существенного повышения КПД всего беспилотника необходимо повышать КПД и энергоэффективность движителя, в том числе подбирать винты оптимального профиля под заданные эксплуатационные задачи. Существующие методики повышения КПД в полете затрагивают только выбор электрической силовой установки и используют неточные, усредненные математические модели для расчетов факторов аэродинамического влияния на тяговые характеристики движителя, делая упор на конфигурации рабочего тока в силовых установках [3]. Это обусловлено высокой сложностью проведения точных расчетов аэродинамических характеристик винтов и зачастую невозможностью получения экспериментальных данных ввиду труднодоступности аэродинамических труб.

Описание физической установки

Для решения поставленной задачи по уточнению математических моделей винтовых движителей были выявлены основные факторы, влияющие на тягу. Подъемная сила крыла (лопасти) прямо пропорционально коэффициенту подъемной силы, устанавливаемому экспериментально, поэтому для составления наиболее точных математических моделей необходимо техническое средство проведения эксперимента, способное измерять и протоколировать данные о тяге, токопотреблении и оборотах винтового движителя.

Заявленная физическая установка представляет собой автоматизированный стенд с возможностью ручного и автоматизированного режимов работы. Исследуемый движитель размещается на стойке, находящейся на удалении от опорной плоскости. С обратной от движителя стороны сопряжен тензометрический датчик, производящий измерение тяги. Также стенд включает в себя защитный акриловый экран, выполняющий роль каркаса.

Согласно имеющимся исследованиям существуют нелинейные зависимости тяги винтовых движителей от угла атаки [4], условием существования которого является наличие воздушного потока в зоне действия винта. Поэтому заявленная физическая установка включает в себя нагнетатель встречного воздушного потока с одним и более активных роторов в зависимости от условий испытаний. Изменение угла встречного потока будет осуществляться за счет поворота движителя относительно зафиксированного нагнетателя.

В современных БПЛА с электрической силовой установкой используют только два вида электродвигателей – коллекторные постоянного тока и вентильные. Коллекторные двигатели постоянного тока магнитно-электрического возбуждения не пользуются популярностью из-за низкой надежности [5]. Поэтому физическая установка оборудована ESC контроллером, позволяющим варьировать мощность, подаваемую на вентильный электродвигатель.

Во избежание экранного эффекта при работе исследуемого винтового движителя конструкция физической установки предусматривает расстояние 0,5 м от движителя до опорной поверхности. Заявленная высота рассчитана исходя из имеющихся исследований влияния эффекта воздушной подушки и усредненного, среднего значения мощности движителей дронов в выбранной весовой классификации [6].

Измерение частоты вращения вала с установленной нагрузкой в виде винта производится бесконтактным методом, основанным на аппаратных прерываниях ИК оптрона, возникающих при прохождении лопасти между приемником и передатчиком. Интеграция ИК оптрона для измерений частоты вращения рациональнее использования энкодеров контактного и бесконтактного типов, так как энкодеры имеют минимальный шаг тиков 5 градусов и требуют прямого сопряжения с валом силовой установки. Погрешность в 5 градусов означает точность измерений около 1,4 %, в то время как период релаксации используемого ИК фотоприемника позволяет измерять частоту оборотов до 12 тыс. в минуту согласно исследованию сегнетоэлектрических релаксоров [7].

Управление установкой осуществляется в ручном и автоматизированном режимах. Конструкция и программное изделие позволяют управлять установкой в ручном режиме посредством элементов управления и экрана для отображения токопотребления, тяги и оборотов. Автоматизированный режим работы обеспечивается программным управлением установкой и протоколированием снимаемых данных посредством КОМ-порта.

Управляющими устройствами выступают АТmega2560 и АТmega328р, соединенных i2c интерфейсом. АТmega328р выполняет функцию придаточного устройства, подключенного к оптрону, работающего в режиме аппаратных прерываний и передающего данные о частоте вращения на АТmega2560. АТmega2560 используется ввиду достаточной тактовой частоты для корректного выполнения поставленных задач, а также наличия отладочной платы Arduino Mega с большим количеством GPIO и иных портов.

Структурная схема заявленного устройства представлен на рис. 1.

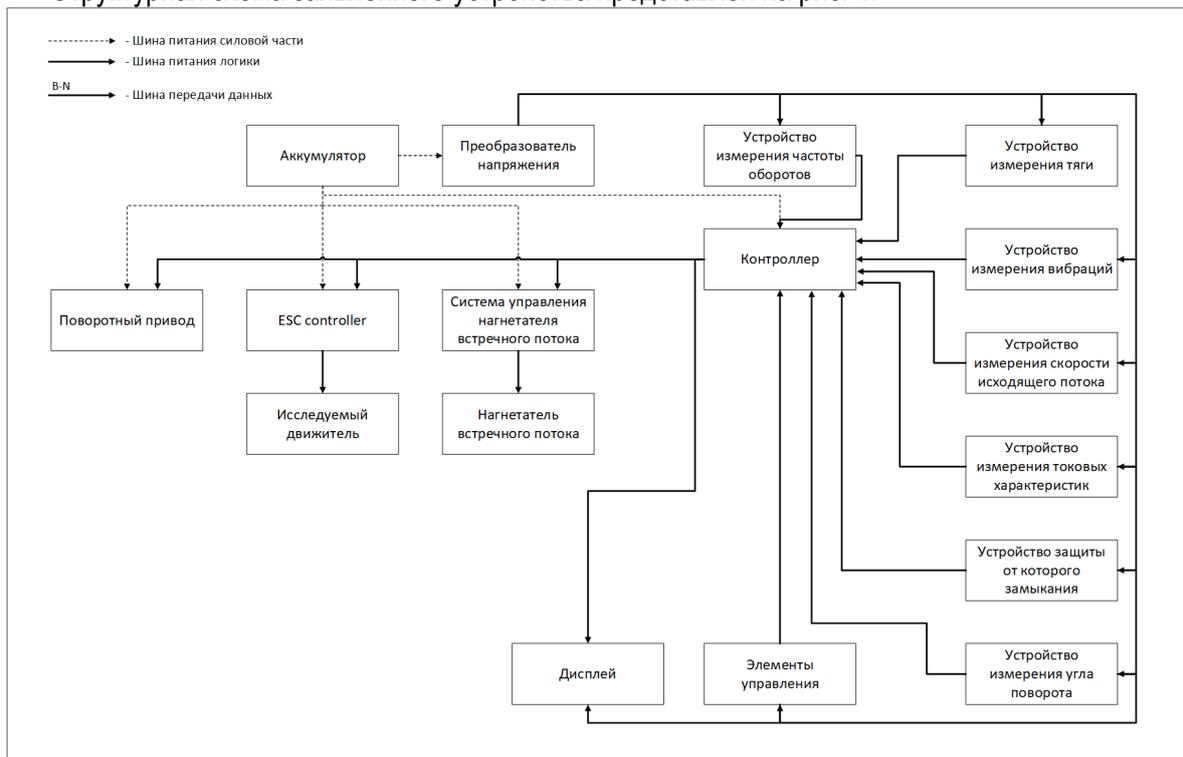


Рис. 1. Структурная схема

Конструкционное раскрытие сущности физической установки представлено в виде схемы на рис. 2, где 1 – исследуемый движитель; 2 – нагнетатель встречного потока; 3 – защитный экран; 4 – тензодатчик; 5 – поворотный привод; 6 – датчик скорости исходящего потока; 7 – датчик частоты вращения вала; 8 – элементы управления; 9 – дисплей.

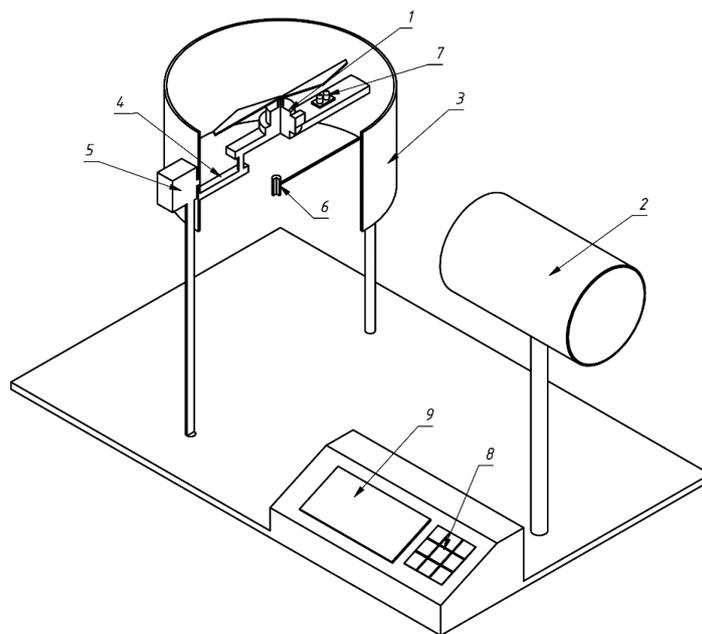


Рис. 2. Конструкция физической установки

Заключение

По результатам тестирования были зафиксированы статистические данные исследуемого винтового двигателя. Полученные данные применимы для составления и верификация математической модели, так как были получены напрямую с выходных параметров исследуемого объекта.

Физическая установка позволяет верифицировать математические модели в рамках теории идеального винта [8] без учета флуктуаций потока и атмосферы, что делает невозможным формирование наиболее точных математических моделей воздушных винтов.

Библиографический список

1. Классификация UVS International. URL: <https://arsenal-info.ru/b/book/3398882726/14> (дата обращения: 20.01.2022).
2. Анализ существующего состояния международного и отечественного рынка применений БАС гражданского назначения. URL: <http://nti-aeronet.ru/blog/2019/04/15/analiz-sushhestvujushhego-sostojanija-mezhdunarodnogo-i-otechestvennogo-rynka-primenenij-bas-grazhdanskogo-naznachenija> (дата обращения: 20.01.2022).
3. Иголкин Д. С, Масько А. Н., Сухов В. В. Алгоритм выбора параметров электрической силовой установки беспилотного летального аппарата с учетом маршрута полета // Информационные системы, механика и управление. 2015. № 13. С. 98–110.
4. Efimov V., Ivichin V., Chernigin O. Experimental research of single – rotor helicopter unintentional yaw rotation // Civil Aviation High Technologies. 2020. N 2. P. 33–44.
5. Иголкин Д. С, Крылов А. А., Иванов М. С. Современное состояние и перспективы развития силовых установок беспилотных летательных аппаратов // Военная мысль. 2019. № 4. С. 57–72.
6. Марашан М. В. Экранный эффект: разработка экспериментальной методики определения аэродинамических характеристик моделей с учетом влияния экрана // Молодой ученый. 2015. № 24. С. 157–160.
7. Чабанов Ю. А., Пешев Я. И. Бесконтактное измерение угловых перемещений и частоты вращения электродвигателя // Вестник самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2013. № 2. С. 223–227.
8. Работа НВ с позиции импульсной теории. URL: <https://infopedia.su/17xafcc.html> (дата обращения: 20.01.2022).

УДК 621.316.3

А. В. Багрова

ученица 10 класса ГБОУ лицея № 144

И. О. Саксонов, А. В. Ходин – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ SMART GRID

Актуальность

Smart Grid («интеллектуальные сети электроснабжения») – это современный комплексный подход к модернизации сетей электроснабжения, объединяющий сети и программные средства для сбора информации о производстве и потреблении энергии, позволяющие в автоматическом режиме регулировать использование энергии, повышая эффективность производства и распределения электроэнергии.

Переход на новую платформу Smart Grid обусловлен повышенными требованиями к экономии энергии в связи с растущим спросом на энергоуслуги, к максимальному использованию экологичных источников энергии при соблюдении условий устойчивого, надежного функционирования электросистем. Создание такой сети включает организационные и технические изменения управления, в том числе учет необходимости изменения статуса потребителя как активного субъекта системы.

Основные принципы технологии Smart Grid

Энергетическая система с применением технологий Smart Grid является единым энергоинформационным комплексом, где управляемые объекты осуществляют дистанционное управление, а алгоритмы противоаварийной автоматики и оценивания ситуации снижают повышенные требования к запасам силовых и информационных мощностей.

В интеллектуальной сети применяются современные продукты и услуги вместе с интеллектуальными технологиями мониторинга и управления, чтобы:

- оптимизировать подключения и эксплуатацию генераторов;
- предоставить потребителям возможность участвовать в работе комплекса;
- продемонстрировать потребителям информацию о том, как они распределяют свои ресурсы;
- уменьшить воздействие системы энергоснабжения на окружающую среду;
- контролировать и совершенствовать надежность системы, качество и безопасность поставок ресурсов.

Элементами Smart Grid являются (представлены на рис. 1):

1) система учета энергии (на схеме блок «умный учет»): автоматическое снятие показаний, удаленное управление приборами, система управления данными учета, двусторонняя коммуникация;

2) алгоритмы работы сети (на схеме «умная сеть»): удаленное и автоматическое управление сетью, оптимизация потерь и планирования сети;

3) система повышения энергоэффективности (на схеме «энергоэффективность»): управление регулированием нагрузок, интервальная тарификация, хранение электроэнергии, формирование культуры потребления;

4) использование инновационных технологий (на схеме «потребительские технологии»): интеллектуальных бытовых приборов, электромобилей, распределенной генерации.

Первостепенное отличие работы Smart Grid от стандартной сети заключается в том, что в традиционных комплексах ток поступает по проводам от генерации к потребителю согласно заранее заданному уровню напряжения и сопротивления. При внедрении системы Smart Grid электросеть становится способна самостоятельно управлять подачей электричества, учитывая изменения режима потребления, с помощью «интеллектуальных» приборов на предприятиях и жилых домах, которые направляют информацию о потреблении.

Внедрение «интеллектуальной сети» предполагает использование комплекса новых современных технологических средств и приемов. Попробуем остановиться на рассмотрении одного из видов

Smart Grid – управляемого интеллектуального соединения (УИС) в активных энергетических комплексах (АЭК).

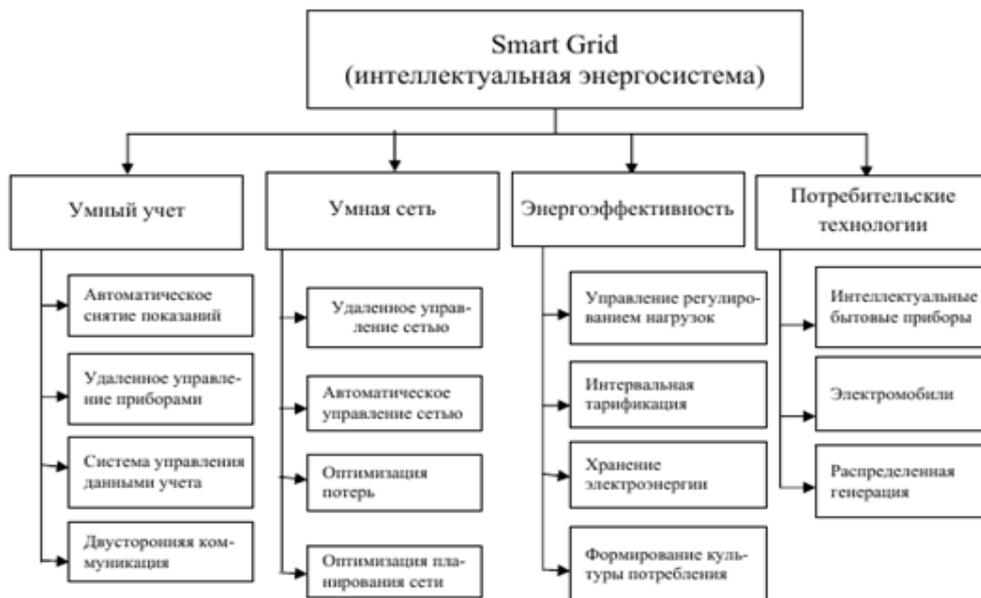


Рис. 1. Структура Smart Grid

Микрогрид

Разработка микрогридов в условиях современного мира является наиболее востребованным и эффективным вариантом энергоснабжения потребителей различного уровня и заменой традиционного подхода развития электросетей, базирующегося на крупной централизованной генерации.

Микрогрид (*microgrid*) – обособленная энергетическая система, которая является комплексом объектов генерации энергии, источников гибкости электроэнергии и потребителей, подчиняющихся единому управлению для обеспечения удобного и эффективного потребления энергоснабжения.

При этом микрогрид можно подключить к централизованной энергосистеме для дополнения электроснабжения, обеспечиваемого этими сетями, или можно использовать как изолированную энергосистему.

Источниками энергетической гибкости могут являться различные электроустановки, осуществляющие управляемое и полезное воздействие на баланс мощности или электрической энергии в энергокомплексе.

В последние годы в Российской Федерации рост использования промышленными предприятиями распределенной генерации связан в первую очередь с возрастающей стоимостью электричества, доступностью новых технологий качественного обслуживания распределенной генерации, внедрением цифровизации в энергетике [1].

Активный энергетический комплекс (АЭК)

Работа по формированию и развитию АЭК в Российской Федерации разъяснена в Распоряжении Правительства РФ от 28.04.2018 № 830-р «Об утверждении плана мероприятий по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров» [2] в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Энерджинет». В данном документе определены основные этапы и направления продвижения продукции и услуг гибких распределительных сетей, обеспечивающих надежность распределенной энергетики. В разработке данного документа участвовали ведущие специалисты и эксперты энергетических компаний.

Активный энергетический комплекс (АЭК) – один из видов микрогрида, применяющийся в основном промышленными предприятиями и коммерческими потребителями, в котором объединены разнообразные субъекты (производителей и потребителей электричества и мощности), вступающие в экономические отношения, связанные с потреблением энергии и мощности внутри микрогрида и из внешней сети.

В соответствии с Распоряжением в условиях эксперимента (пилотного проекта), который запланирован на 2020–2023 годы, активный энергетический комплекс (АЭК) определяется как микрогрид, который связан с ЕЭС и в состав которого входит не задействованная в оптовом рынке генерация общей мощностью до 25 МВт. Потребителями в нем выступают исключительно промышленные предприятия, административно-деловые и торговые центры. Основные участники проекта – Минэнерго России, АО «СО ЕЭС», сетевые предприятия.

Управляемое интеллектуальное соединение в активных энергетических комплексах (УИС АЭК)

Управление производством и потреблением энергии в АЭК с учетом обязательств по мощности, допустимой для потребления из сети (разрешенной мощности), обеспечивается за счет управляемого интеллектуального соединения (УИС) – программно-аппаратного комплекса, поддерживающего параметры перетока мощности от ЕЭС к АЭК в пределах разрешенной мощности АЭК и регулирующего производство вместе с потреблением энергии, обеспечивая возможность изменения режима потребления электричества внутри комплекса.

Управляемое интеллектуальное соединение (УИК) – технологическая система, которая осуществляет управление режимами работы отдельных субъектов АЭК и их совокупностью, определяет взаимные обязательства между субъектами АЭК, субъектами АЭК с сетевыми организациями и другими субъектами энергетического рынка.

Главной отличительной особенностью АЭК является то, что он объединяет нескольких хозяйствующих субъектов (владельцев генерации и потребителей), позволяя им регулировать потребление мощности, электроэнергии и осуществлять энергообмен для управления тратами на электроснабжение.

Условия отношений в АЭК:

- только один из объектов АЭК имеет точку присоединения к электрическим сетям сетевой организации;
- все объекты АЭК имеют между собой электрические связи через объекты электросетевого хозяйства, не принадлежащие сетевой организации;
- регулирование производства и потребления электрической энергии (мощности) в АЭК осуществляется с применением УИС;
- в составе АЭК нет потребителей электроэнергии, относящиеся к населению и категориям потребителей этого уровня.

Кроме этого, участники активного энергетического комплекса сами устанавливают параметры ограничения по потреблению энергии из сети сетевой организации, опираясь на минимальный достаточный объем электропотребления с учетом возможностей электростанции и потребностей устройств, принимающих энергию, учитывая дополнительные ограничения, определенные в указанной выше Концепции.

Такие ограничения технически обеспечиваются настройками ПАК (программно-аппаратного комплекса) УИС. Все требования к УИС представлены в приказе Министерства энергетики РФ от 30 июня 2020 г. № 507 «Об утверждении требований к управляемому интеллектуальному соединению активных энергетических комплексов» [33].

К первостепенным функциям управляемого интеллектуального соединения относятся:

- 1) контроль перетока мощности из ЕЭС к АЭК в пределах Разрешенной мощности АЭК;
- 2) контроль потребления мощности всех объектов, входящих в АЭК, в пределах их индивидуальной установленной разрешенной мощности;
- 3) управление производством и потреблением энергии в пределах АЭК;
- 4) непрерывное дистанционное управление режимами потребления объектов электроэнергии в АЭК, в том числе их ограничение при необходимости.

Кроме этого, УИС должен автоматически в электронной форме информировать потребителя, сетевую организацию и гарантирующего поставщика при отказах работоспособности и неисправных состояниях системы и передавать информацию о текущей мощности. Зарегистрированные данные должны передаваться на сервер при помощи GSM связи для хранения в течение не менее двух лет.

Защита данных на транспортном уровне при их передаче по сети Интернет также обеспечивается УИС.

Обычно УИС АЭК устанавливаются на границе балансовой принадлежности всех объектов АЭК, в том числе объекта по генерации электроэнергии, а также в точках присоединения энергопринимающих устройств к распределительным. Поэтому УИС устанавливают на фидерах, которые обеспечивают подключение активного энергетического комплекса к сети общего пользования (ЕЭС России), на шинах генератора и на каждом из фидеров, подключенных к энергопринимающим устройствам объектов вАЭК.

Архитектурно УИС АЭК состоит из аппаратной и программной частей, поэтому считается программно-аппаратным комплексом(ПАК).

Аппаратная часть УИС представлена интеллектуальной системой для учета энергии и полупроводниковыми устройствами, которые обеспечивают регулирование коммутацией и специальные функции для защиты.

Архитектура УИС АЭК

Архитектура УИС АЭК, представленная на рис. 2, состоит из:

- 1) общего контроллера – технического устройства, отключающее объект от сети общего пользования (ЕЭС) при превышении разрешенной мощности в течение установленного промежутка времени;
- 2) контроллерпроизводителя (генератора) – технического устройства, управляющее объемом производства электроэнергии.
- 3) контроллера потребителя (нагрузки) – технического устройства, ограничивающее потребления в случае превышения допустимого установленного значения.

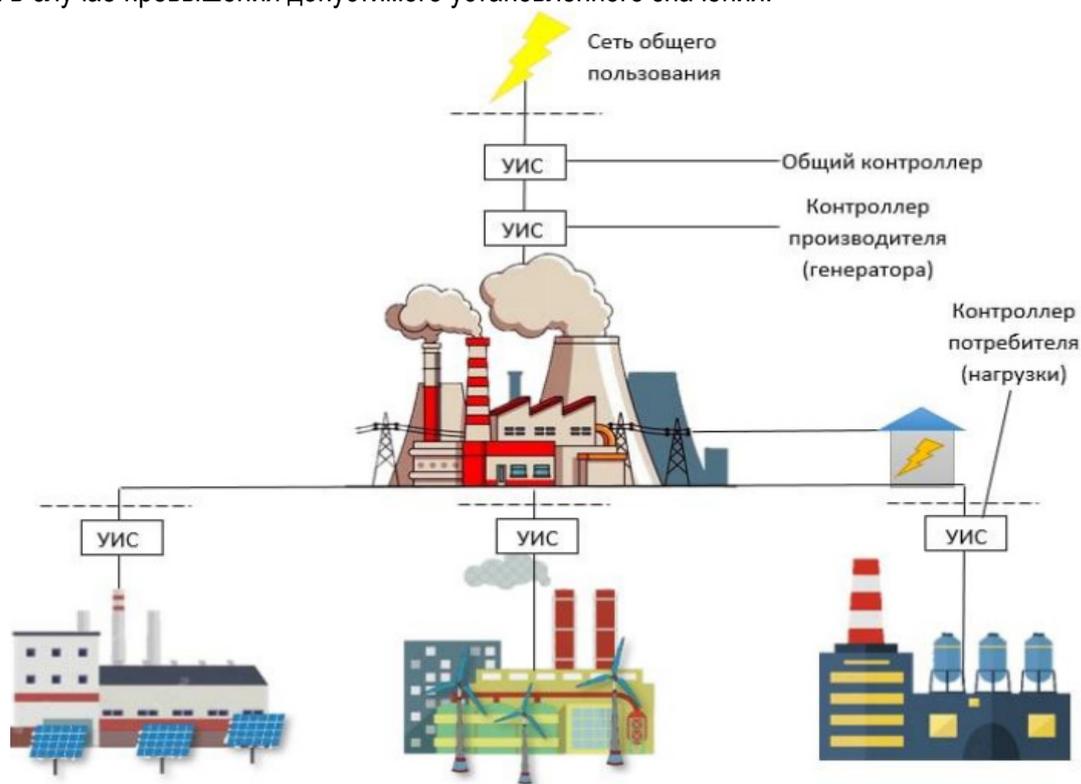


Рис. 2. Архитектура УИС АЭК

Программная часть УИС отвечает за реализацию математических алгоритмов и ограничительных механизмов в АЭК. Она сконструирована в виде двухуровневой системы, которая состоит из вычислительного модуля для оптимизации и периферийных модулей управления [4].

Также УИС обладает возможностью анализировать данные по договорам, чтобы обрабатывать аварийные ситуации по различным сценариям. Алгоритм работы УИС представлен на рис. 3.

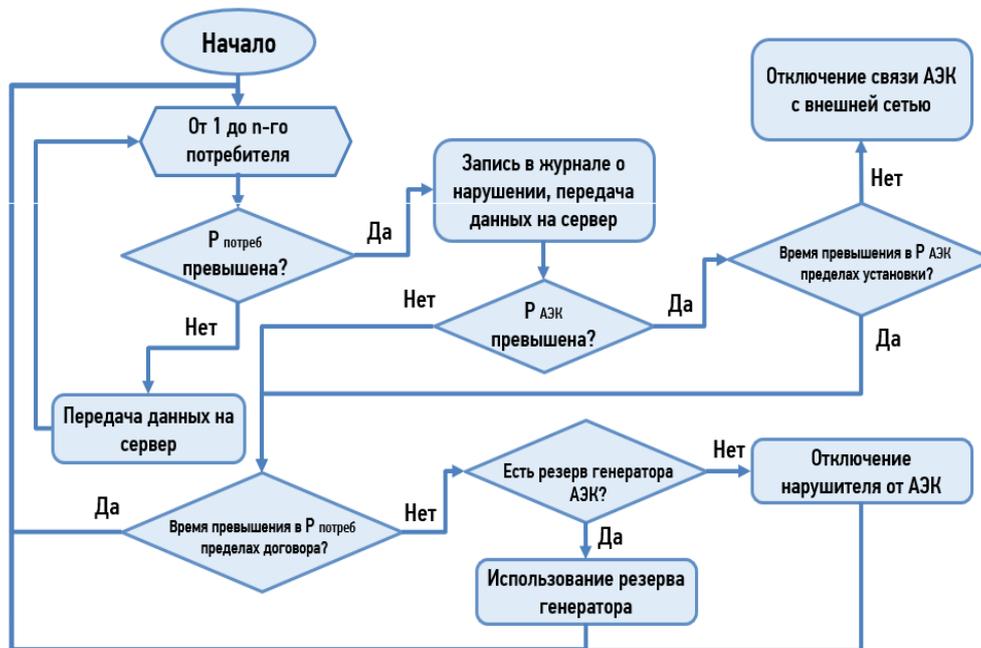


Рис. 3. Алгоритм работы УИС

Стоит заметить, что программная часть обычно находится по месту установки УИС или в облачном пространстве.

Заключение

В современном мире инновационные программные разработки и технологии, входящие в состав оборудованных умных сетей, активно взаимодействуют друг с другом, образуя интеллектуальные системы энергоснабжения. При этом результаты анализа, полученные благодаря считыванию информации с оборудования данных комплексов, помогают:

- регулировать процессы потребления и генерации энергоресурсов;
- снизить затраты энергии и, соответственно, оплату самого потребления;
- повысить надежность функционирования и работы объектов комплекса;
- увеличить общую энергоэффективность систем.

Преимущество Smart Grid заключается в том, что эта технология позволяет аккумулировать излишки энергоресурсов и перераспределять их в периоды высоких нагрузок, что также может способствовать росту промышленности в целом.

Библиографический список

1. Энергоинновация РФ «В составе ЕЭС России будут созданы активные энергетические комплексы». URL: <https://энергоинновация.рф/v-sostave-ees-rossii-budut-sozdany-aktivnye-energeticheskie-kompleksy/> (дата обращения: 10.03.2022).
2. Распоряжение Правительства РФ от 28.04.2018 № 830-р «Об утверждении плана мероприятий по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров». URL: <https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/regulations/reg320-210320.pdf> (дата обращения: 10.03.2022).
3. Приказ Министерства энергетики Российской Федерации от 30.06.2020 № 507 «Об утверждении требований к управляемому интеллектуальному соединению активных энергетических комплексов». URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011020032> (дата обращения: 10.03.2022).
4. Черненко М., Слепцов С. Принципы классификации управленческих информационных систем // Корпоративные системы. 2004. № 1. URL: <https://www.management.com.ua/ims/ims086.html> (дата обращения: 10.03.2022).

Г. Ю. Беспяты, К. С. Исаков

студенты кафедры электромеханики и робототехники

В. Е. Белай – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Промышленные роботы и их разработка – одна из перспективных и первоочередных задач по автоматизации производств нашей страны. Системы технического зрения (СТЗ) – это часть роботизированных комплексов, предназначенная для получения информации об изделиях. К примеру, на заводах при выполнении технологических операций, связанных с конвейерной сортировкой деталей, СТЗ дает возможность автоматизировать и тем самым ускорить процесс сортировки, определяя местоположение и ориентацию деталей в пространстве [1]. Если брать в пример сортировку деталей, то, разрабатывая алгоритмы обработки данных в СТЗ, основной задачей будет распознавание образов этих самых деталей, а определение положения в пространстве этих деталей будет являться задачей по параметрической оценке образов (изображений) этих деталей. Помимо этого, не менее важной задачей является достижение мгновенного контроля размеров деталей и изделий, а также контроль положения режущего, фиксирующего или сортировочного инструмента относительно детали.

От структуры, алгоритмического обеспечения и баз данных, на которые опирается алгоритм СТЗ, зависят ее функциональные возможности и эффективность промышленных роботов, управляемых этой системой. Продуманный выбор совокупности алгоритмов выполнения операций ввода, обработки и анализа видеоинформации так же важен, как и использование совершенных устройств регистрации изображений и вычислительных средств СТЗ [2]. Общепринятые этапы обработки изображений системой технического зрения представлены на рис. 1. Алгоритмы обработки изображений на каждом из этапов могут существенно отличаться в зависимости от решаемых задач.

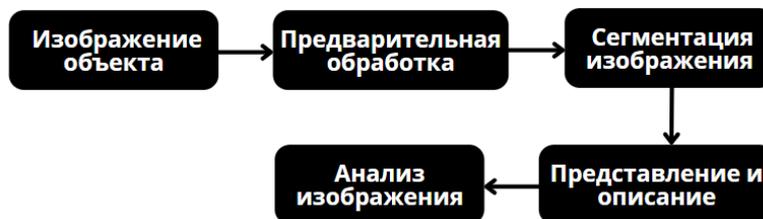


Рис. 1. Схема операции обработки изображений в СТЗ

В [3] проводился анализ двух алгоритмов, распознающих образы, сравнивались методы выделения очертаний и контуров изучаемых изображений объектов. Первым методом является метод Канни, который часто использовался в цифровой обработке изображений, так как является одним из лучших, второй – комбинированный метод.



Рис. 2. результаты выделения контуров объектов: а – эталонное изображение; б – контуры, выделенные методом Канни; в – контуры, выделенные комбинированным методом

Алгоритм, работающий по методу Канни, включает в себя следующие этапы:

- 1) изображение сглаживается низкочастотным фильтром (закон Гаусса);
- 2) нахождение градиентов изменяющейся яркости во всех точках изображения;

- 3) определение локальных максимумов градиентов;
- 4) приравнивание границ к локальным максимумам градиентов изображения и замещение частей изображения, не являющихся максимумами;
- 5) расчет возможных границ на основе сравнения с двумя уровнями T_1 и T_2 , где $T_1 < T_2$;
- 6) расчет областей неопределенности;
- 7) расчет итоговых границ по принципу исключения всего, что не связано с определенными границами в пункте пять.

На рис. 2 (б) показано итоговое изображение применения данного алгоритма с выделением границ деталей, которые изображены на рис. 2 (а). Контур, полученные по методу Канни, помимо внешнего контура содержат собственные линии контуров, наличие которых определено освещенностью объектов отслеживания при получении изображений. Данный эффект может создавать непостоянность признаков распознавания изображений объектов.

Комбинированный метод – это метод Канни, но модифицированный. Помимо этапов обработки метода Канни, в комбинированном методе используются процедуры морфологической обработки. Основные методы математической морфологии являются наращивание, эрозия, замыкание и размыкание. А ее операциями – объединение, пересечение, дополнение и разность.

Работа комбинированного метода состоит из:

- 1) этапов выделения метода Канни;
- 2) морфологической дилатации границ объектов;
- 3) заполнения областей, полученных на шаге два;
- 4) морфологической эрозии изображения из шага три;
- 5) массивов данных изображения, полученных на шаге три и четыре, подвергающихся морфологическому вычитанию.

На рис. 2 (в) приведены изображения границ объектов, выделенных по правилам комбинированного метода. Глядя на рис. 2, сразу видно, что при помощи комбинированного метода мы получаем четкие контуры и только внешние границы объектов.

Для сравнения данных методов проводился эксперимент, в котором использовались эталонные изображения (ЭИ) и их модификации:

- 1) 40 ЭИ без модификаций положения;
- 2) 160 изображений ЭИ повернутых на углы α (20, 30, 60 и 80 градусов);
- 3) 80 изображений, которые были получены путем изменения масштаба ЭИ с коэффициентом масштаба k (0,5 и 0,75);
- 4) 200 изображений под воздействием на ЭИ аддитивного шума с нормальным законом распределения и СКО (0,036, 0,062, 0,073, 0,086 и 0,101), где СКО – это среднеквадратичное отклонение, которое выражено в относительных единицах от числа градаций изображения.

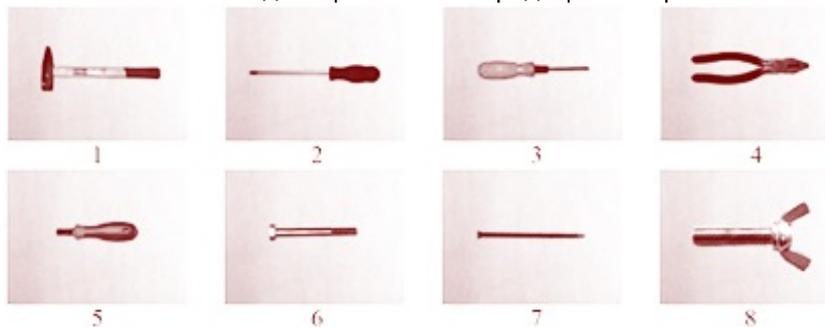


Рис. 3. База данных 8 из 40 ЭИ

В ходе эксперимента было использовано 98 признаков и была поставлена задача по оценке вероятности правильного распознавания объектов изображения методом Канни и комбинированным методом (оценивая выделенные контуры).

Было выяснено, что при повороте на углы α вероятность распознать объект для обоих алгоритмов одинакова и составляет 90 %. Но масштаб и СКО влияют на вероятность распознавания объекта по-разному (результаты приведены в табл. 1).

Влияние масштаба и СКО на вероятность распознавания объектов

Параметр	Вероятность распознавания, %	
	Канни	Комбинированный
Масштаб (к)		
0,75	82,5	95
0,5	50	70
СКО шума		
0,036	85	90
0,062	52,5	87,5
0,073	35	85
0,086	32,5	80
0,101	25	67,5

Анализируя результаты, представленные в табл. 1, можно сделать следующие выводы:

- 1) оба алгоритма с одинаковой вероятностью распознают повернутые ЭИ;
- 2) комбинированный метод более устойчив к изменению масштаба объектов;
- 3) комбинированный метод более устойчив к аддитивному шуму.

Бесконтактность и высокая точность – основные достоинства оптических методов контроля. Нужно заметить, что существует множество различных способов, методов и алгоритмов для контроля размеров деталей или положения деталей и режущего инструмента в пространстве, но все они рассчитаны и разработаны под определенные задачи, поэтому рассмотрим основные: «алгоритм центра масс» и «оптимальный алгоритм».

Алгоритм «Центр масс» применяется и для продольного, и для поперечного отслеживания перемещений. Ключевым достоинством данного метода является отсутствие требования к обладанию информацией о пространственном распределении облученности при отслеживании объектов.

При использовании «оптимального алгоритма» предполагается, что заранее известен вид регистрируемого сигнала. Данный метод рекомендуется использовать в том случае, если при перемещениях объекта распределение облученности в плоскости отслеживаемого объекта остается неизменным (исключая учет помех). Оптимальный алгоритм обеспечивает минимальную погрешность измерения.

Чтобы сравнить эффективность «оптимального алгоритма» и алгоритма «центра масс», были проведены исследования по измерению поперечных перемещений объекта при помощи экспериментального устройства, которое работает при помощи гелий-неонового лазера, освещающего рабочую область полосками размером 1 мм, а их период освещения рабочей области равен 0,1 мм.

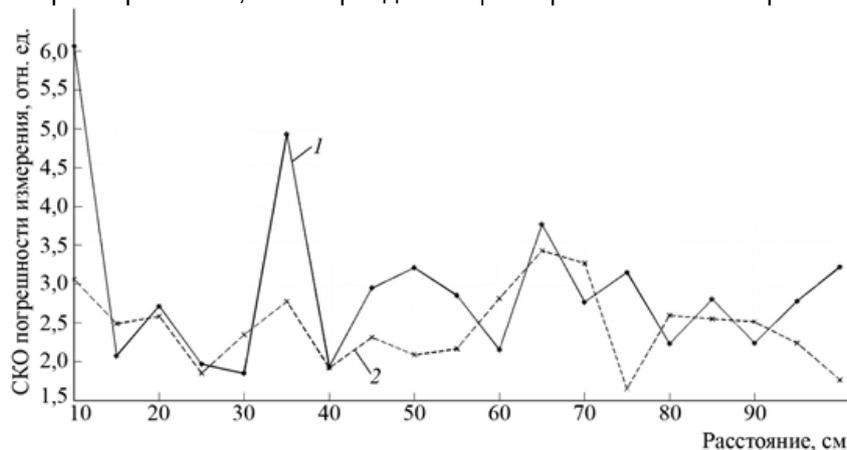


Рис. 4. Среднеквадратичное отклонение погрешности измерения:
1 – алгоритм «центр масс»; 2 – «оптимальный алгоритм»

Изображения регистрировались камерой, а затем для обработки передавались в ПЭВМ, чтобы произвести расчеты и оценку координат по алгоритму «центра масс» и «оптимальному алгоритму». При помощи микрометрического винта реализовывалось поперечное перемещение, а погрешность перемещения составляла 2 мкм.

До начала экспериментов камера и объект устанавливались вдоль оптической оси прибора в его диапазоне его работы = [100;1000] мм. Далее в этих положениях задавались поперечные перемещения в диапазоне = [0; 0,6] мм. После чего происходила регистрация 60 изображений после каждого поперечного перемещения. Обработанные результаты представлены на рис. 4.

Глядя на графики, можно сказать следующее: изменяя распределение облученности в изображении вдоль оси прибора среднее значение СКО погрешности оценки координат по «оптимальному алгоритму» практически совпадает с погрешностью микрометрического винта. В среднем значение СКО погрешности оценки «оптимального алгоритма» примерно в два раза ниже, чем значение СКО погрешности оценки координат алгоритма «центра масс». Таким образом, можно сделать вывод, что «оптимальный алгоритм» более предпочтителен для реализации в СТЗ в сравнении с алгоритмом «центр масс».

Заключение

В данной статье были разобраны некоторые из известных в настоящее время методов и алгоритмов по обработке изображения в СТЗ, а именно метод Канни, комбинированный метод, алгоритм «центра масс» и «оптимальный алгоритм». Основываясь на описанных в [3] исследованиях алгоритмов обработки изображений в СТЗ, было установлено следующее:

- 1) комбинированный метод в алгоритме распознавания предметов по контурам деталей обеспечивает более высокую эффективность, чем метод Канни;
- 2) для определения размеров и удаленности СТЗ от объектов более результативным и высокоточным является «оптимальный алгоритм».

Библиографический список

1. Генкин В. Л., Ерош И. Л., Москалев Э. С. Системы распознавания автоматизированных производств. М.: Машиностроение, 1988. 242 с.
2. Мошкин В. И., Петров А. А., Титов В. С. Техническое зрение роботов. М.: Машиностроение, 1990. 272 с.
3. Колючкин В. Я., Нгуен К. М., Чан Т. Х. Алгоритмы обработки информации в системах технического зрения промышленных роботов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2013. 12 с.

УДК 628.987

А. П. Бобрышов

ассистент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. П. Кузьменко

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Кузьменко – старший преподаватель кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

Введение

Для передачи электроэнергии высокого напряжения, постоянным или переменным током на определенные расстояния (от нескольких десятков до тысяч км) существует целый комплекс устройств и сооружений. Необходимость передачи электроэнергии обусловлена тем, что электроэнергия вырабатывается крупными электростанциями, а потребляется сравнительно маломощными приемниками электроэнергии, распределенными на территории, часто существенно удаленной от электростанций. От эффективности передачи электроэнергии зависит работа единых электроэнергетических систем, охватывающих обширные территории.

В комплекс для передачи переменного тока входят: линия электропередачи, концевые и промежуточные подстанции электрические с коммутационной аппаратурой, трансформаторы и автотрансформаторы на этих подстанциях, устройства продольной и поперечной компенсации, переключательные пункты (при необходимости), устройства релейной защиты и автоматики, телеметрии, связи. Передачи переменным током могут быть транспортными и межсистемными. Транспортная передача предназначена для передачи электроэнергии от удаленной электрической станции в приемную систему, межсистемная – для связи отд. электроэнергетических систем и обмена электроэнергией между ними. По ЛЭП передаются потоки мощности, измеряемые сотнями и тысячами МВт.

Передача электрической энергии (ЭЭ) переменного тока

Переменный ток – это вынужденные электромагнитные колебания, вызываемые в электрической цепи источником переменного (чаще всего синусоидального) напряжения. В настоящее время переменный ток повсеместно применяется как у непромышленных потребителей, так и у промышленных потребителей [1].

Передача ЭЭ переменным током от источника происходит следующим образом. Энергия, выработанная генератором, попадает на распределительные подстанции, где напряжение постепенно понижают для дальнейшей передачи конечному потребителю. Поскольку напряжение переменного тока в сети РФ равно 230 вольтам, а генерируемое различными видами электростанций от 330 до 750 кВ, существуют трансформаторные распределительные подстанции. Так как переменное напряжение представляет собой разность потенциалов, для его передачи требуется как минимум 3 проводника: фаза, ноль защитный и ноль рабочий. В современном мире используется 3-фазная система, в которой используется 5 проводников.

Из-за особенностей переменного тока его эффективно можно передавать на большие расстояния, что в условиях РФ является актуальным вопросом, поскольку электростанции и конечные потребители могут находиться на большом расстоянии друг от друга.

Передача электрической энергии постоянного тока

Принцип передачи постоянного тока заключается в том, что генератор генерирует переменный ток. Перед передачей по воздушной или кабельной линии ток проходит через выпрямитель и передается всего по двум проводам вне зависимости от схемы, а после передачи попадает в инвертор на стороне потребителя, который преобразует постоянный ток в переменный и далее – ток потребляется [2].

В настоящее время и выпрямитель, и инвертор чаще всего представляют собой одну и ту же же полупроводниковую преобразовательную систему, которая может работать в обоих режимах в зависимости от направления передаваемой энергии.

Сравнительная характеристика передачи электрической энергии переменным и постоянным током

Потребление электроэнергии быстро растет во всем мире. Этот рост особенно ускорился в последнее десятилетие, существующие линии электропередач перегружаются сверх своих возможностей по передаче мощности. Перегруженность линий электропередачи способствовала перебоям в подаче электроэнергии и нестабильности энергосистемы. Строительство новых линий электропередачи может стать решением для смягчения этих проблем. Однако, чтобы построить новую линию электропередачи, требуются огромные инвестиции. Помимо этого, экологические проблемы создадут дополнительные барьеры, которые будут замедлять выполнение проекта. Таким образом, наиболее эффективным и быстрым решением этой проблемы является повышение пропускной способности и запаса устойчивости существующих линий электропередачи. Добиться этого можно благодаря передаче электрической энергии постоянным током.

Система одновременной передачи переменного и постоянного тока дает возможность нагружать линии очень близко к их тепловым пределам. В результате дополнительного потока мощности постоянного тока в тех же линиях переменного высокого напряжения происходит существенное повышение пропускной способности существующей линии электропередачи. Добавление мощности постоянного тока может привести к значительному увеличению общей передаваемой мощности из-за того, что мощность, передаваемая по линии постоянного тока, не зависит от угловой разности между ее клеммами переменного тока.

Когда постоянный ток вводится в переменный ток и одновременно передается по одной и той же линии передачи, такая система называется системой одновременной передачи переменного и постоянного тока. С точки зрения эксплуатации эта система очень близка к параллельной системе постоянный-переменный, а отличие ее состоит в том, что одновременная передача постоянного и переменного тока не имеет отдельной линии постоянного тока [3]. Преимущество добавления мощности постоянного тока может заключаться в том, что мощность, передаваемая по звену постоянного тока, не зависит от угловой разницы между его клеммами переменного тока и, по существу, будет соответствовать требованиям управления.

В случае чистой системы передачи переменного тока реактивное сопротивление линии ограничивает пропускную способность линии и устойчивость системы. Есть некоторые другие проблемы, связанные с системой переменного тока, такие как перенапряжение при переключении, вызывающее серьезное переходное перенапряжение, высокая степень потерь на корону, повышение напряжения на приемном конце из-за эффекта Ферранти, огромные радиопомехи в системе связи и более высокое сопротивление из-за скин-эффекта [4].

Чтобы преодолеть эти проблемы, существующая длинная линия передачи высокого напряжения переменного тока может быть преобразована в линию передачи высокого напряжения постоянного тока. В этом случае преобразования необходимо изменить линейную инфраструктуру. Изоляторы переменного тока должны быть заменены изоляторами постоянного тока, а расстояние утечки и безопасное расстояние должны быть увеличены. Но из-за географического положения существующей линии во многих случаях становится очень сложно изменить инфраструктуру линии.

В системе одновременной передачи электроэнергии переменного и постоянного тока по проводникам разрешено проводить постоянный ток, наложенный на переменный ток. Мощность переменного и постоянного тока течет независимо, и добавленный поток мощности постоянного тока не вызывает какой-либо переходной нестабильности [5]. Мощность постоянного тока получается путем преобразования части переменного тока с помощью 12-импульсного выпрямительного моста с линейной коммутацией, который используется в обычном HVDC, и подается в нейтральную точку зигзагообразно соединенных вторичных обмоток передающего оконечного трансформатора. Преобразователи подключаются к шинам переменного тока с помощью трансформаторов Y-Y и Y-D. То же самое преобразуется в переменный ток обычным 12-импульсным инвертором с линейной коммутацией на приемном конце. Мост инвертора подключается к нейтрали зигзагообразно соединенной обмотки приемного оконечного трансформатора. Линейные проводники соединены между зигзагообразными вторичными обмотками трансформатора на обоих концах.

К недостаткам переменного тока относится низкая пропускная способность электролиний и особенно кабельных линий из-за наличия емкости между проводами, проводами и землей. В последнее время в связи с необходимостью объединения мощных станций и систем, расположенных на значительных расстояниях друг от друга, выяснилось, что синхронная работа станций и систем становится при этом неустойчивой и даже невозможной. Дело в том, что синхронная работа соединенных между собой систем возможна лишь при условии, что мощность в линии передачи не превышает значения определенного предела, называемого пределом устойчивости. Последний повышается при повышении напряжения, но сильно понижается при увеличении длины линии. Однако при повышении напряжения (свыше 200 кВ) быстро растет стоимость оборудования концевых подстанций (особенно выключающей аппаратуры и трансформаторов) и стоимость самой линии, в которой для ослабления коронного разряда (то есть стекания электричества с проводов высокого напряжения через воздух) необходимо значительное увеличение диаметра проводов. Устойчивая электропередача переменным током практически возможна на расстояниях до 450–500 км при напряжении 400–500 кВ [6].

Из всего сказанного следует, что нужды сплошной электрификации народного хозяйства страны могут быть удовлетворены одновременным применением переменного (производство и потребление) и постоянного (передача) тока.

Применение постоянного тока для передачи электрической энергии на большие расстояния открывает новые возможности для электроэнергетики. Передача электроэнергии постоянным током экономически оправдывает себя только при передаче больших мощностей на большие расстояния. Так, мощность в 750 МВт выгоднее передавать постоянным током, начиная с расстояний в 650 км, а мощность в 1500 МВт – начиная с 500 км.

Достоинства передачи ЭЭ постоянным током

Достоинства данного способа передачи больше всего заметны при передаче большой мощности на большие расстояния, особенно между двумя несинхронизированными объектами генерации энергии.

Благодаря ряду инновационных решений за последние годы передача высокого напряжения постоянным током теперь призвана заменить передачу переменного тока, при этом предлагая улучшенную пропускную способность для передачи на расстояние и более высокую эффективность на этих расстояниях. Передача переменного тока невозможна между двумя сетями различных существующих энергетических инфраструктур, так как требуется синхронизация между ними. Это позволяет беспрепятственно интегрировать новые источники энергии в электрические сети без нестабильности, которую такая интеграция может принести в сети переменного тока. Передача постоянного тока высокого напряжения может соединять сети, работающие на любой частоте или напряжении. Это позволяет легко интегрировать возобновляемую энергию из различных источников в существующие электрические сети, способствуя эффективному переходу на возобновляемые источники энергии. Передача высоковольтного постоянного тока надежна и проста в управлении, обеспечении мгновенного и точного управления потоком электроэнергии для новых и существующих сетей. Высоковольтный постоянный ток может расширить энергетические сети, сделав их более стабильными.

Постоянный ток наносит меньше вреда для окружающей среды, чем переменный ток, обеспечивая больше энергии на квадратный метр на больших расстояниях, при этом делая это более эффективно, чем системы переменного тока, а также обеспечивает меньшие потери и меньшие требования к пространству. Эта повышенная эффективность снижает углеродный след постоянного тока по сравнению с переменным, сокращая потери примерно с 5–10 % при передаче переменного тока до примерно 2–3 % для тех же условий, но для постоянного тока [7].

Недостатки передачи ЭЭ постоянным током

Также у постоянного тока есть свои недостатки. К которым можно отнести в целом гораздо более высокую стоимость, так как постоянным ток невозможно сгенерировать сразу большой величины по напряжению, а трансформаторы не могут работать на переменном токе, поэтому невозможно легко

изменять по желанию величину напряжения. Следовательно, из этого вытекает невозможность взаимодействовать с основными характеристиками, которые контролируются диспетчерскими органами при работе линий электропередачи [8].

Заключение

Постоянный ток обладает огромным потенциалом, который уже проявляется в крупномасштабных глобальных разработках с его использованием в системах возобновляемой энергии. Hitachi ABB Power Grids оказывает поддержку Китаю в строительстве электросети Чжанбэй в районе Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй, первой в мире электросети такого рода. Ожидается, что после завершения строительства эта сеть обеспечит район постоянным снабжением возобновляемой энергией за счет интеграции удаленной энергии ветра, солнца и воды и может способствовать внедрению аналогичных систем в Европе и США. Буквально в прошлом месяце Hitachi ABB Power Grids объявила о крупном проекте с компанией Scottish and Southern Electricity Networks (SSEN), входящей в состав британского энергетического гиганта SSE plc, по созданию первого в Европе многоканального соединения с постоянным током. Линия, которая впервые соединит Шетландские острова с системой электропередачи Великобритании.

Еще одним захватывающим проектом на постоянном токе является Dogger Bank в Великобритании, состоящий из трех проектов ветряных электростанций в Северном море. Эта разработка станет первым в Великобритании оффшорным ветровым электроснабжением постоянным током. Ожидается, что после завершения в 2030 году она обеспечит электроэнергией 4,5 млн домов. Эти разработки не только демонстрируют огромный потенциал постоянного для будущего энергетической отрасли, но и играют важную роль в стратегиях по снижению глобального потепления и содействию цели устойчивого развития ООН по расширению доступа к надежной и доступной энергии для всех.

Библиографический список

1. Электрические сети переменного и постоянного тока. Передача электроэнергии постоянным током. URL: https://studbooks.net/1929860/matematika_himiya_fizika/elektricheskie_seti_peremennogo_postoyannogo_toka (дата обращения: 20.02.2022).
2. Электрические сети переменного и постоянного тока. Передача электроэнергии постоянным током. URL: <http://elektrik.info/main/fakty/1820-peredacha-postoyannogo-toka.htm> (дата обращения: 13.02.2022).
3. *Мухаммед Т.* Analytical approach to investigate the loadability of a long transmission line for simultaneous AC-DC power flow // 8-я Международной конференции по электротехнике и вычислительной технике. 2014. С. 285–288.
4. *Алам М.* Development of an analytical model of a simultaneous AC-DC power transmission system / Бангладешский университет технологий и инжинири, 2016.
5. *Басу К.* Simultaneous AC-DC power transmission // Институт инженеров. 2001. Вып. 82. С. 32–35.
6. Достоинство и недостатки передачи постоянного тока. URL: <https://studall.org/all2-16833.html?ysclid=kzjz7e6lad> (дата обращения: 15.02.2022).
7. The Benefits of High-Voltage Direct Current (HVDC) Power. URL: <https://eepower.com/technical-articles/the-difference-that-dc-makes/#> (дата обращения: 15.02.2022).

УДК 511.3

И. В. Богданов

студент группы МР2-211-ОБ*

В. И. Усков – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель – научный руководитель*

*Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г. Ф. Морозова

РЕШЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РЕКУРРЕНТНЫХ СООТНОШЕНИЙ ТРЕТЬЕГО ПОРЯДКА С ПОСТОЯННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ

Введение

Изучение рекуррентных соотношений (возвратных последовательностей) началось с работы А. Муавра и Д. Бернулли, опубликованной в 20-х годах XVIII века, и получило развитие в работе Л. Эйлера [1]. Более позднее изложение теории возвратных последовательностей было в курсах исчисления конечных разностей, читанных П. Л. Чебышевым и А. А. Марковым. Рекуррентные соотношения (от латинского слова *recurrere* – возвращаться) играют большую роль в теории сложности алгоритмов, вычислительных методах и теории вероятностей, в дискретной математике, являясь в некотором смысле дискретным аналогом дифференциальных уравнений. Кроме того, они позволяют сводить данную задачу от m параметров к задаче от $m - 1$ параметров, потом к задаче от $m - 2$ параметров и т. д. Последовательно уменьшая число параметров, можно прийти до задачи, которую уже легко решить.

Рекуррентным соотношением называется соотношение вида:

$$u_{n+p} = F(u_{n+p-1}, u_{n+p-2}, \dots, u_{n+1}, u_n)$$

В частности, при $F = \sum_{i=1}^{p-1} a_i u_{n+i}$ это соотношение является линейным (далее – ЛРС). Отметим,

что решение линейного ЛРС с постоянными коэффициентами с $fn = P_m(n)\mu^n$, где $P_m(n)$ – многочлен по n порядка m общеизвестно (см., напр., в [2]), но в случае произвольной fn таких результатов, по-видимому, нет.

В [3] решено ЛРС второго порядка с произвольной неоднородностью fn . Отметим, что этот результат применялся в [4] при математическом исследовании кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа лесопожарной грунтометательной машины.

В настоящей работе рассматривается ЛРС третьего порядка при всех

$$u_{n+3} + au_{n+2} + bu_{n+1} + u_n = fn \quad (1)$$

с заданными постоянными a, b, c , последовательностью fn , определенной при каждом $n > 0$.

Цель работы: вычислить последовательность u_n , удовлетворяющую (1) при каждом $n > 0$, в виде аналитической формулы и на примере начальной задачи проиллюстрировать алгоритм решения.

Общее решение ЛРС (1)

Для некоторой достаточно гладкой функции $\varphi(x)$ введем функционал

$$\delta n\{\varphi\} = \varphi(n)(0).$$

Имеет место следующее предложение, вытекающее из линейности производной.

Предложение 1. Функционал δn линеен.

Далее пусть $y(x)$ и $f(x)$ – функции таковы, что

$$u_n = \delta n\{y\}, \quad fn = \delta n\{f\}. \quad (2)$$

Рассмотрим вспомогательное дифференциальное уравнение при всех $x > 0$

$$y'''(x) + ay''(x) + by'(x) + cy(x) = f(x) \quad (3)$$

с произвольной достаточно гладкой функцией $f(x)$. Продифференцировав его n раз, получим

$$y^{(n+3)}(x) + ay^{(n+2)}(x) + by^{(n+1)}(x) + cy^{(n)}(x) = f^{(n)}(x) \quad (4)$$

Взяв в (4) $x=0$, с учетом (2), получим (1).

Тем самым получена лемма.

Лемма 1. Если функция $y(x)$ удовлетворяет уравнению (3), то последовательность $u_n = \delta_n\{y\}$ является решением ЛРС (1), где $fn = \delta_n\{f\}$.

Решение однородного уравнения $y'''(x) + ay''(x) + by'(x) + cy(x) = 0$ раскладывается по базисным функциям $\omega_1(x), \omega_2(x), \omega_3(x)$ [5]. Тогда метод вариации произвольных постоянных приводит к решению уравнения (3):

$$y(x) = \sum_{i=1}^3 c_i \omega_i(x) + \sum_{i=1}^3 (-1)^{i+1} \omega_i(x) \int_0^x f(s) \tilde{W}_i(s) ds,$$

где $W(x)$ – вронскиан, построенный по функциям $\omega_1(x), \omega_2(x), \omega_3(x)$,

$$W_1(x) = \det \begin{pmatrix} \omega_2(x) & \omega_3(x) \\ \omega_2'(x) & \omega_3'(x) \end{pmatrix}, \quad W_2(x) = \det \begin{pmatrix} \omega_1(x) & \omega_3(x) \\ \omega_1'(x) & \omega_3'(x) \end{pmatrix},$$

$$W_3(x) = \det \begin{pmatrix} \omega_1(x) & \omega_2(x) \\ \omega_1'(x) & \omega_2'(x) \end{pmatrix}, \quad \tilde{W}_i(x) = W^{-1}(x) W_i(x).$$

Обозначим

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!}, \quad C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}.$$

Далее нам понадобится следующее утверждение.

Лемма 2. Пусть $g(x), f(x), h(x)$ – непрерывно дифференцируемые надлежащее количество раз функции. Тогда для функции

$$\rho(x) = g(x) \int_0^x f(s) h(s) ds$$

справедлива формула производной

$$\rho^{(n)}(x) = g^{(n)}(x) \int_0^x f(s) h(s) ds + \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^{i-1} C_n^i C_{j-1}^k g^{(n-i)}(x) f^{(j)}(x) h^{(i-1-j)}(x).$$

Лемма получена применением два раза формулы Лейбница.

Применение предложения 1 и лемм 1, 2 приводит к теореме.

Теорема. Общее решение ЛРС (1) определяется формулой

$$u_n = \sum_{i=1}^3 c_i \delta^n \{\omega_i\} + \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{j-1} (-1)^{i+1} C_n^j C_{j-1}^k \delta^{n-j} \{\omega_i\} \delta^{j-1-k} \{\tilde{W}_i\} f_k, \quad n = 1, 2, \dots,$$

с произвольными постоянными c_i .

Замечание 1. Пусть задана характеристическая последовательность

$$\chi_r = \begin{cases} 1, & \text{если } r = 4n, \\ -1, & \text{если } r = 4n + 2, \quad n \in \mathbf{Z}, \\ 0, & \text{если } r \text{ нечетное.} \end{cases}$$

Имеют место следующие соотношения:

$$\delta^k \{e^{\alpha x} x^m\} = A_k^m \alpha^{k-m}, \quad m \in \mathbf{N} \cup \{0\}, \quad k \geq m,$$

$$\delta^k \{e^{\alpha x} \cos \beta x\} = \sum_{r=0}^k C_k^r (-1)^r \alpha^{k-r} \beta^r \chi_r,$$

$$\delta^k \{e^{\alpha x} \sin \beta x\} = \sum_{r=0}^k C_k^r (-1)^{r+1} \alpha^{k-r} \beta^r \chi_{r-1}.$$

Пример

Для решения задачи нам понадобится утверждение, следующее из леммы 2.

Предложение 2. Пусть $f(x)$ – непрерывно дифференцируемая n раз функция. Тогда имеет место формула

$$\frac{d^n}{dx^n} e^{\lambda x} \int_0^x e^{-\lambda s} f(s) ds = \lambda^n e^{\lambda x} \int_0^x e^{-\lambda s} f(s) ds + \sum_{k=1}^n \lambda^{n-k} f^{(k-1)}(x). \quad (5)$$

Доказательство. Применив к интегралу лемму 2, получим:

$$\begin{aligned} \frac{d^n}{dx^n} e^{\lambda x} \int_0^x e^{-\lambda s} f(s) ds &= \lambda^n e^{\lambda x} \int_0^x e^{-\lambda s} f(s) ds + \\ &+ \sum_{k=1}^n \left(\sum_{j=k}^n C_n^j C_{j-1}^{k-1} (-1)^{j-k} \right) \lambda^{n-k} f^{(k-1)}(x). \end{aligned} \quad (6)$$

Далее, взяв в (6) $\lambda=1$ и последовательно $f(x)=x^p$, $p=1, 2, \dots, n$, и проинтегрировав по частям, получим:

$$\sum_{j=k}^n C_n^j C_{j-1}^{k-1} (-1)^{j-k} = 1, \quad k = 1, 2, \dots, n,$$

что влечет (5). Предложение доказано.

Рассмотрим начальную задачу:

$$u_{n+3} - 9u_{n+2} + 26u_{n+1} - 24u_n = (n+1)n, \quad (7)$$

$$u_0=2, u_1=0, u_2=-1. \quad (8)$$

Решение найдем по алгоритму, вытекающему из п. 1 настоящей работы.

1. Составим вспомогательное дифференциальное уравнение, заменив u_{n+k} на производную $y^{(k)}(x)$ некоторой функции $y(x)$, $k=0, 1, 2, 3$, а fn – на $f(x)$:

$$y'''(x) - 9y''(x) + 26y'(x) - 24y(x) = f(x), \quad x > 0.$$

Найдем решение уравнения методом вариации произвольных постоянных. Решение уравнения равно

$$y(x) = c_1(x)e^{2x} + c_2(x)e^{3x} + c_3(x)e^{4x}, \quad (9)$$

где функции $c_i(x)$ определяются из системы

$$c_1'(x)(e^{2x})^{(k)} + c_2'(x)(e^{3x})^{(k)} + c_3'(x)(e^{4x})^{(k)} = 0, \quad k = 0, 1,$$

$$c_1'(x)(e^{2x})'' + c_2'(x)(e^{3x})'' + c_3'(x)(e^{4x})'' = f(x).$$

Решив ее, выразив $c_i(x)$ и подставив в (9), получим:

$$\begin{aligned} y(x) &= k_1 e^{2x} + k_2 e^{3x} + k_3 e^{4x} + \\ &+ \frac{1}{2} e^{2x} \int_0^x e^{-2s} f(s) ds - e^{3x} \int_0^x e^{-3s} f(s) ds + \frac{1}{2} e^{4x} \int_0^x e^{-4s} f(s) ds. \end{aligned}$$

2. С помощью функционала δl построим решение u_n по формуле (2). Нетрудно видеть, что

$$\delta l\{e_{kx}\} = \lambda n. \quad (10)$$

Тогда, применив предложение 1, формулы (10), (5), заменив $f(k-1)$ (x) на $fk-1$ (где $fn=(n+1)n$ – неоднородность в правой части (7)) и сгруппировав слагаемые под знаком суммы, получим:

$$u_n = k_1 2^n + k_2 3^n + k_3 4^n + \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{2} \cdot 2^{n-k} - 3^{n-k} + \frac{1}{2} \cdot 4^{n-k} \right) k^{k-1}. \quad (11)$$

3. Найдем решение, удовлетворяющее начальным значениям (8).

Из первого начального условия имеем:

$$k_1 + k_2 + k_3 = 2;$$

из второго:

$$2k_1 + 3k_2 + 4k_3 = 0;$$

из третьего:

$$4k_1 + 9k_2 + 16k_3 = -1.$$

Решив систему, получим

$$k_1 = \frac{23}{2}, \quad k_2 = -15, \quad k_3 = \frac{11}{2}.$$

Таким образом, подставив значения в (11), получим решение задачи (7), (8):

$$u_n = \frac{23}{2} \cdot 2^n - 15 \cdot 3^n + \frac{11}{2} \cdot 4^n + \sum_{k=1}^n \left(\frac{1}{2} \cdot 2^{n-k} - 3^{n-k} + \frac{1}{2} \cdot 4^{n-k} \right) k^{k-1}. \quad (12)$$

Замечание 2. При $n=0$ слагаемые под знаком суммы полагаются нулевыми.

4. Проверим подстановкой, что последовательность (12) удовлетворяет (7) при каждом n . В обозначении

$$w_{npk} = \frac{1}{2} \cdot 2^{n+p-k} - 3^{n+p-k} + \frac{1}{2} \cdot 4^{n+p-k}, \quad p = 0, 1, 2,$$

выражение (12) можно переписать:

$$u_n = \frac{23}{2} \cdot 2^n - 15 \cdot 3^n + \frac{11}{2} \cdot 4^n + \sum_{k=1}^n w_{n0k} k^{k-1}. \quad (13)$$

Имеем:

$$\begin{aligned} & u_{n+3} - 9u_{n+2} + 26u_{n+1} - 24u_n = \\ & \frac{23}{2} \cdot 2^{n+3} - 15 \cdot 3^{n+3} + \frac{11}{2} \cdot 4^{n+3} + \sum_{k=1}^{n+3} w_{n+3,0k} k^{k-1} - \\ & 9 \cdot \left(\frac{23}{2} \cdot 2^{n+2} - 15 \cdot 3^{n+2} + \frac{11}{2} \cdot 4^{n+2} + \sum_{k=1}^{n+2} w_{n+2,0k} k^{k-1} \right) + \\ & 26 \cdot \left(\frac{23}{2} \cdot 2^{n+1} - 15 \cdot 3^{n+1} + \frac{11}{2} \cdot 4^{n+1} + \sum_{k=1}^{n+1} w_{n+1,0k} k^{k-1} \right) - \\ & 24 \cdot \left(\frac{23}{2} \cdot 2^n - 15 \cdot 3^n + \frac{11}{2} \cdot 4^n + \sum_{k=1}^n w_{n0k} k^{k-1} \right) \end{aligned}$$

Вычисления показывают, что все слагаемые, содержащие произвольные постоянные, в сумме дают 0. В каждой сумме выделим первые n слагаемых и внесем их под один знак:

$$\begin{aligned} & \sum_{k=1}^n (w_{n+3,0k} - 9w_{n+2,0k} + 26w_{n+1,0k} - 24w_{n0k}) k^{k-1} + \\ & w_{n+3,0,n+1}(n+1)^n + w_{n+3,0,n+2}(n+2)^{n+1} + w_{n+3,0,n+3}(n+3)^{n+2} + \\ & 9w_{n+2,0,n+1}(n+1)^n - 9w_{n+2,0,n+2}(n+2)^{n+1} + \\ & 26w_{n+1,0,n+1}(n+1)^n. \end{aligned}$$

Далее выражение в скобках под знаком суммы равно 0. Приведем подобные при одних и тех же степенях:

$$\begin{aligned} & (w_{n+3,0,n+1} - 9w_{n+2,0,n+1} + 26w_{n+1,0,n+1})(n+1)^n + \\ & (w_{n+3,0,n+2} - 9w_{n+2,0,n+2})(n+2)^{n+1} + w_{n+3,0,n+3}(n+3)^{n+2}. \end{aligned}$$

Коэффициент перед степенью $(n+1)n$ равен 1, а остальные коэффициенты равны 0, что и доказывает требуемое.

Библиографический список

1. Euler L. Introduction to the Analysis of the Infinite. Marc Michel Bousquet. P. 1748.
2. Воронин В. П., Поспелов А. Д. Дополнительные главы дискретной математики. М.: МГУ им. М. В. Ломоносова, 2002. 129 с.
3. Усков В. И., Анжаурова Т. М. Решение линейных рекуррентных соотношений второго порядка // Молодой ученый. 2019. –№ 42 (280). С. 1–6.
4. Попиков П. И., Поздняков А. К., Усков В. И. Теоретическое исследование кинематических и динамических характеристик шнекового рабочего органа лесопожарной грунтометательной машин // Лесотехнический журнал. 2021. Т. 11. № 3 (43). С. 140–151.
5. Понтрягин Л. С. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1974. 331 с.

УДК 628.8

В. В. Венскель

студент кафедры управления в технических системах

В. Р. Шалахин

студент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. В. Литвинов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПОДДЕРЖАНИЯ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИИ

Введение

Внутренний микроклимат представляет собой совокупность всех физико-химических параметров помещений, воздействующих на организм человека, предметы и здание. На значения этих параметров напрямую влияет тип установок в здании, таких как отопление, вентиляция и освещение. При формировании внутренней среды любого здания следует учитывать требования и удобства пребывания людей в помещении. В данной статье постараемся разобраться основными составляющими, включая измерения параметров, формирующих внутренний микроклимат.

Условия формирования микроклимата

Микроклимат, по сути, оказывает непосредственное влияние на человека. Если воздействие имеет положительный эффект, то человек испытывает чувство комфорта, и организм не тратит силы на приспособление к внешним условиям. Например, хороший микроклимат избавляет от жары, при которой человеческому организму пришлось бы включать механизмы терморегуляции. Внутреннее состояние среды жилых и общественных помещений складывается из многих параметров, но приоритетными будут:

- температура помещения;
- влажность воздуха;
- чистота воздуха.

Все эти параметры можно не только измерять, но и регулировать с помощью климатического оборудования.

Графически структурная схема состояния микроклимата изображена (рис. 1). Здесь можно выделить, что микроклимат помещения является суммой факторов:

- влияние технологического процесса в помещении;
- влияние внешней среды;
- систем отопления и охлаждения (СО) и вентиляции (СВ);
- кондиционирования воздуха (СКВ).



Рис. 1. Структурная схема формирования микроклимата [1]

Для создания требуемых условий труда в нормальных метеорологических условиях, которое обеспечивает правильно подобранное оборудование и его размещение, отопление, охлаждение и вентиляция являются главными составляющими для формирования условий окружающей среды.

Вентиляция является важным техническим средством, которое перемещает наружный воздух в здание или помещение и распределяет воздух внутри него. Главная задача, которую она решает, – доставить чистый воздух человеку, при этом не изменяя свойств воздуха. Если рассмотреть составляющие системы вентиляции можно выделить: устройства увлажнения, нагревания и осушения приточного воздуха.

В зданиях предоставление внутренних удобных помещений предполагает непростую техническую задачу. Повышение высоты сооружения приводит к значимому изменению давления атмосферы снаружи, а также внутри сооружения пропорционально его высоте – как пример изменения состояния климата.

Воздействие теплового комфорта на организм человека

Метаболические процессы, которые участвуют жизнедеятельности человека и устанавливают баланс энергии. В связи с этим постараемся выделить формулу тепловой энергии.

Если рассмотреть тепловую энергию M , выделяемую человеком, учитывающую количество потребляемого кислорода Вт/м^2 , которая выражается формулой: [2]

$$M = 5,8 * \bar{V} \frac{VO_2}{A},$$

где 5,8 – энергетический эквивалент 1 л кислорода при нулевой температуре и нормальном барометрическом давлении при $V = 1 \text{ Вт ч/л}$;

\bar{V} – соответствует числу выдыхаемого углекислого газа и вдыхаемого кислорода;

VO_2 – потребление воздуха в нормальных условиях, л/ч;

$A = 0,203 G, 425 L, 0,725$, A – площадь кожи организма в м^2 ; G – масса в кг; L – рост человека, м.

Комфортные условия микроклимата

Если рассматривать влияние условий микроклимата на деятельность человека и влияние метеорологических факторов, с помощью которых можно описать состояние теплового комфорта, наибольший вклад в изучение сделал русский ученый И. И. Флавицкий.

Далее опишем формулу для расчета температуры помещения, в которое помещено тело, относительно которого проводятся расчеты. А именно температура помещения (t_R) – среднее между между температурой воздуха t_B и радиационной температурой t_R выражается следующей формулой:

$$t_R = \frac{t_B + t_R}{2}$$

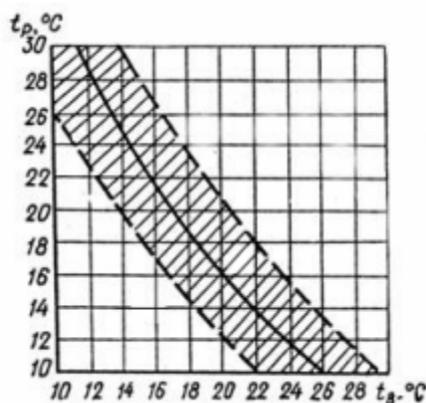


Рис. 2. Значение средней температуры воздуха и радиационной температуры для комфортных условий [3]

Радиационная температура рассматриваемого помещения рассчитывается как средняя площадь всей поверхности среды. На рис. 3. показана диаграмма нормально эффективных температур.

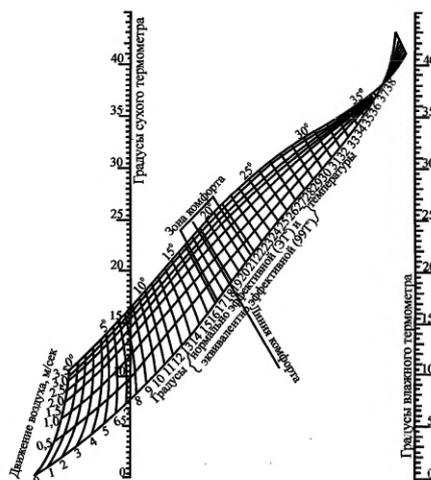


Рис. 3. Диаграмма нормально эффективных и эквивалентно эффективных температур

Тепловой комфорт можно описать как удовлетворение человека окружающей средой. В этой удовлетворенной среде физическая и умственная продуктивность человека становится выше. Уравнение теплового комфорта было установлено П. О. Фангером в 1970-х годах. «Уравнение комфорта Фангера» представляет собой комбинированную количественную комбинацию переменных окружающей среды и индивидуальных факторов.

В результате исследований ученый смог выразить формулу теплового комфорта, которая описывается:

$$6,91 + \frac{M}{F_d} (0,45 - 0,601\eta + 0,003P + 0,0014t_B) + 0,407P = 4k \left[\left(\frac{t_{од} + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_R + 273}{100} \right)^4 \right] + k\alpha_B(t_{од} - t_B),$$

где P – парциальное давление водяного пара в воздухе, мм рт. ст.; $\frac{M}{F_d}$ – удельное значение метаболического тепла, Вт/м²; k – коэффициент теплопередачи одежды, кло (1 кло = 0,155 м² °C/Вт); η – механический КПД; t_{од} – температура одежды, °C; α_в – коэффициент теплообмена, Вт /м² [4].

Также кроме уравнения теплового комфорта рассмотрим метод расчета теплоощущения человеком.

PMV (Predicted Mean Vote) – прогнозируемый средний голос – индекс, который может давать прогнозированное среднее значение реакции на тепловой комфорт небольшой группы людей на основе баланса человеческого тела по 7-бальной шкале – коэффициентов Фангера. Автор описал критерии комфорта, которые были определены теоретическими, экспериментальными и статистическими исследованиями [5]:

$$PMV = 0,41e^{-0,049M/F_d} + 0,037Q_0.$$

Таблица 1

PMV	-3	-2	-1	0	1	2	3
Чувство	Холодно	Прохладно	Немного прохладно	Нейтрально	Немного тепло	Тепло	Жарко

Итак, из шкалы коэффициентов Фангера (табл. 1) и формулы, описывающей ее, можно сделать вывод, что показатель уровня теплового комфорта и дискомфорта пропорционален разности теплопродукции человека и его теплоотдачи во внешнюю среду.

Заключение

В результате проведенного анализа были выявлены основные составляющие, которые влияют на микроклимат помещения: отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Сформирована структурная схема данных, влияющих на микроклимат. Были описаны уравнение теплового комфорта и метод расчета теплоощущения человеком (Фангер). Также рассмотрены научно-теоретические принципы, которые лежат в основе и позволяют обеспечивать микроклимат в помещении.

Библиографический список

1. *Кувшинов Ю. Я., Самарин О. Д.* Основы обеспечения микроклимата зданий: лучшего М.: Ассоциации строительных вузов. 2012. С. 7.
2. *Сканави А. Н., Махов Л. М.* Отопление, учебник для вузов. М.: АСВ, 2002. 576 с.
3. *Банхиди Л.* Тепловой микроклимат помещений. М.: Стройиздат, 1981.
4. *Дорофеев В. Н.* Теоретические основы создания микроклимата в помещении. Владимир: Стройиздат, 1981. 23 с.
5. *Стенькина М. П., Черунова И. В.* Исследование индекса PMV для оценки теплового состояние человека. URL: <https://scienceforum.ru/2018/article/2018005298> (дата обращения: 14.02.2022).

УДК 621.315

А. В. Воробьев

ученик 10 класса ГБОУ лицея № 144

А. Ф. Каратеев, Д. А. Ченцов – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧА НА ДАЛЬНИЕ РАССТОЯНИЯ. УМЕНЬШЕНИЕ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Введение

В современном мире электроэнергия необходима повсюду. Благодаря передаче тока на дальние расстояния мы можем пользоваться нашими электроприборами, непрерывно работают множество различных фабрик, заводов и прочих производств. Из-за этого электроэнергия должна быть доступна абсолютно всем, в каждом уголке планеты. Для этого необходимо множество сетей электропередачи, каждая из которых будет непрерывно перенаправлять энергию. Но, как и сказано ранее, необходимо доставлять электроэнергию в абсолютно разные уголки мира, что представляет собой довольно большое расстояние. При этом всем следует учитывать потери электроэнергии, которые происходят в процессе ее транспортировки. Сразу возникает вопрос, возможно ли уменьшить потери электроэнергии? И если возможно, то как это сделать?

Способы передачи электроэнергии на дальние расстояния

В тех случаях, когда передача электроэнергии осуществляется на дистанции в несколько десятков километров, следует использовать воздушные линии. В отличие от кабельных линий, их строительство обходится гораздо дешевле. ЛЭП способны на то, чтобы объединить соседние страны в общую сеть. Кроме этого, благодаря тому, что провода находятся под открытым небом, становится проще совершать осмотр технического состояния линии, а также спрогнозировать ее возможные неисправности.



Рис. 1. Возведение ЛЭП

Для каждого вида ЛЭП существует предел, то есть пропускная способность. Максимальная передаваемая мощность зависит от нагрева проводника, условий устойчивости. Существует связь между мощностью, передаваемой через ЛЭП, и протяженностью ЛЭП, а также напряжением переменного тока. При определенных условиях можно считать, что для ЛЭП максимальная мощность будет пропорциональна квадрату напряжения [1], [2].

Постоянный ток как альтернатива

На данный момент большинство линий электропередач работают на переменном токе. Но в качестве альтернативы можно рассматривать использование воздушных линий с постоянным напряжением. В таких случаях линии электропередач получат следующие плюсы:

- статическую неустойчивость не принимаем во внимание;
- нет необходимости в синхронизации по частоте связанных энергосистем;
- с повышением расстояния нет потери мощности;
- практически отсутствует генерация реактивной мощности;
- становится возможным организовать передачу электроэнергии по двухпроводной или однопроводной линии, что упрощает конструкцию.

Но несмотря на это все, линии электропередач на постоянном токе не получили популярности. Одной из причин является большая стоимость на оборудование, способное преобразовать синусоидальное напряжение в постоянное.

Причины возникновения потерь электроэнергии

В основном потери электроэнергии бывают либо технологическими, либо коммерческими. В первом случае, они происходят из-за преобразования определенной части электроэнергии в тепловую энергию. Также некоторая часть энергии уходит на обеспечение подстанций, на их функционирующее оборудование. Стоит заметить, что полностью устранить технологические потери невозможно, их можно лишь снизить, что происходит путем совершенствования технологических процессов, оборудования и других приборов.

Что касается коммерческих проблем, то они возникают при рассмотрении электроэнергии как товара. Основным примером является безучетное потребление, из-за которого становится невозможным предъявить оплату кому-либо из потребителей. Чтобы высчитать потери, относящиеся к этому типу, приходится вычитать технологические потери из фактических потерь. К коммерческим проблемам также можно отнести различные ошибки в счетах, которые были выставлены потребителю, банальная погрешность в измерении затраченной электроэнергии, а также хищение электроэнергии [3], [4].

Способы уменьшения потерь электроэнергии

Несмотря на то, что у большинства потребителей во внутренних сетях 220/380 вольт, электроэнергия поступает к ним по высоковольтным магистралям и понижается на трансформаторных подстанциях. Мощность потерь описывает данная формула: $Q = 2 I * R_l$, где I – сила тока, проходящего через магистраль; R_l – ее сопротивление.

Получается, что снизить затраты можно при помощи уменьшения сопротивления в ЛЭП или же понизив силу тока. В первом случае станет необходимо увеличивать сечения провода, но этот вариант стоит сразу исключить, поскольку это повлечет повышение суммы, которая будет затрачена на возведение электропередающих магистралей. Во втором случае придется увеличивать напряжение путем внедрения высоковольтных ЛЭП, что приведет к снижению потерь мощности.

Чтобы снизить потери электроэнергии в электрических сетях, стоит организовать мероприятия, которые будут направлены на общую оптимизацию сети в тех случаях, когда снижение потерь является лишь частью некоего комплексного плана или же мероприятия, главной целью которых является снижение потерь.

Так, например, для снижения потерь электроэнергии могут проводить реконструкцию мероприятий, но при этом уровень потерь электроэнергии является лишь одним из параметров, но не главным для осуществления реконструкции.

К техническим аспектам мероприятий по снижению потерь можно отнести:

- реализацию оптимального управления режимами электрических сетей;
- установку и ввод в действие технических средств снижения потерь электроэнергии, средств телеизмерений параметров режима электрических сетей и автоматических устройств управления режимами [5], [6].

Заключение

Перед человеком неоднократно вставала проблема передачи электроэнергии на дальние расстояния. Увеличивая длину проводов линий электропередач растет их сопротивление, а также увеличиваются и потери мощности, из-за чего потребителям приходит значительно меньшее количество

электроэнергии. Снижение потерь электроэнергии является невероятно сложным процессом, который требует выполнения технических и организационных мероприятий. Пытаясь избавиться от значительного количества потерь электроэнергии, люди сами не замечают, как дорого с материальной точки зрения им это обходится. Внедрение различных мероприятий по снижению потерь электрической энергии позволят повысить энергосбережение и эффективность ее передачи.

Библиографический список

1. Герасименко А. А., Федин И. Т. Передача и распределение электрической энергии. Ростов н/Д: Феникс, 2008. 715 с.
2. Ананичева С. С., Бартоломей П. И., Мызин А. Л. Передача электроэнергии на дальние расстояния. Екатеринбург, 1993.
3. Куско А., Томпсон М. Сети электроснабжения. Методы и средства обеспечения качества энергии. М., 2012.
4. Герасименко А. А., Федин В. Т. Передача и распределение электрической энергии. 4-е изд. М., 2014.
5. Веникова В. А. Электрические системы. Режимы работы электрических систем и сетей. М., 1998.
6. Быстрицкий Г. Ф. Общая энергетика. М., 2016.

УДК 62-503.56:004.896

А. В. Выграновская

студентка кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Приходский

студент кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Мартынов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГИБРИДНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКОЙ****Введение**

В данной статье рассмотрено устройство гибридных силовых установок, классификация и схемы, а также их применение в мобильных роботах. Пояснен принцип работы и взаимодействие частей гибридного привода. Представлен принцип движения и изучено оптимальное управление гибридной силовой установкой: с помощью динамического программирования и по принципу минимума Понтрягина.

Мобильные роботы находят широкое применение в различных сферах деятельности человека. Они должны обладать высокими динамическими свойствами и возможностью автономно функционировать в сложных условиях долгое время и перемещаться на значительные расстояния при экономном расходовании ограниченных ресурсов.

Функции управления мобильными роботами и условия их эксплуатации привели к необходимости использовать как двигатели внутреннего сгорания (ДВС), так и электроприводы (ЭП) в качестве силовых установок.

Удовлетворить различным требованиям могут мобильные роботы, оснащенные гибридными приводами, сочетающими в себе преимущества ДВС и ЭП, что вместе образует сложную управляемую динамическую систему, в которой ДВС обеспечивает необходимый ресурс хода робота, а ЭП позволяет улучшить динамику робота, создавая дополнительный момент и энергетические показатели, пополняя заряд аккумулятора в режимах рекуперации энергии.

Устройство гибридной силовой установки

Существуют три схемы для гибридных силовых установок ГСУ (рис. 1): последовательная, параллельная и смешанная [1]. В последовательной ДВС механически связан только с ЭП, а тяговый двигатель – только с колесами. Колеса приводятся в движение электродвигателем, а небольшой ДВС крутит генератор, вырабатывающий электричество. Последовательная схема применяется в условиях, когда требуется значительный крутящий момент, а не скорость. По этой схеме выполнены силовые установки автомобилей, грузовиков, некоторых автобусов и локомотивов.

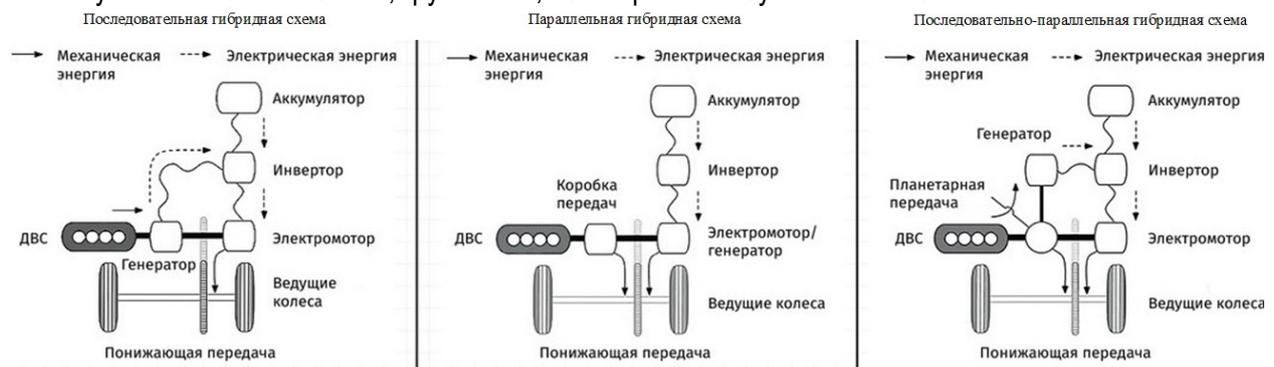


Рис. 1. Схемы гибридных силовых установок

Наибольшее распространение получила параллельная схема: ДВС и ЭП механически связаны с колесами посредством дифференциала, который позволяет работать индивидуально или совместно. В гибридах стоит мощный электродвигатель (от 10 до 15 кВт), дополняющий ДВС во время разгона, а при торможении накапливается рекуперативная энергия.

Гибриды (последовательно-параллельные) смешанного типа также находят свое применение. ДВС, электрогенератор и электродвигатель связаны друг с другом и с колесами с помощью планетарной передачи, что позволяет менять потоки мощности между узлами. ДВС вращает колеса в тандеме с электродвигателем, одновременно вращая генератор. Электроника контролирует скорость двигателя и генератора, делая такую систему бесступенчатой коробкой передач.

Гибридные силовые установки используют два источника энергии для своего движения. Обычно электрический двигатель объединен с двигателем внутреннего сгорания. Ожидается, что гибриды будут иметь более низкий расход топлива и меньше загрязнять окружающую среду, чем обычные установки на одном источнике энергии. Снижение расхода топлива гибридных силовых установок может быть достигнуто за счет оптимизации их механической конструкции: облегчения кузова, повышения эффективности двигателя и т. д., а также за счет оптимизации потоков мощности между двигателем, генератором и аккумулятором.

Оптимальное управление распределением потоков мощности между силовыми агрегатами ГСУ оказывает ключевое влияние на экологические, энергетические и ездовые характеристики робота. Поэтому распределитель мощности рассматривается как главный элемент системы управления ГСУ.

Принцип движения гибридной силовой установки

Принцип работы гибридной силовой установки состоит из нескольких этапов движения. Эти этапы описывают практически всю работу установки и особенно важны для рассмотрения задачи управления.

Первым этапом является начало движения, движение с малой скоростью, нагрузкой или под небольшим углом. Движение в таком режиме обеспечивается электродвигателем, так как двигатель внутреннего сгорания имеет низкий КПД при малых нагрузках. Здесь необходимо достаточное количество энергии в накопителе, иначе движение будет осуществляться с использованием ДВС.

Какое-то время робот может двигаться равномерно, такой режим работы наиболее эффективно обеспечивает ДВС. Если мощности двигателя не хватает для обеспечения движения (это может произойти при малом вращающем моменте в сравнении с моментом сопротивления), в работу включается электродвигатель. Если же имеется избыток мощности двигателя, она отводится с помощью контура рекуперации и запасается накопителем.

Ускорение также можно отнести к этапу движения робота. Разгон, как и начало движения, осуществляется в основном с помощью электродвигателя, при этом работа ДВС минимальна. При недостатке запасенной энергии или неспособности электродвигателя обеспечить необходимую мощность ДВС начинает вырабатывать дополнительную энергию, тем самым обеспечивая достаточную мощность для работы системы.

В данной установке используется рекуперативное торможение, при котором запасенная энергия преобразуется и передается в накопитель. Система гидравлического торможения также имеет место, если рекуперативное торможение обладает недостаточной эффективностью.

Оптимальное управление гибридной силовой установкой

Система автоматического управления гибридной силовой установки должна решать несколько задач [2]:

- а) стабилизация заданных режимов работы отдельных агрегатов, входящих в состав силовой установки, и обеспечение требуемого качества переходных процессов;
- б) распределение потоков энергии между основными агрегатами в зависимости от режимов работы установки, а также ее текущего состояния, управляющих и возмущающих воздействий;
- в) обеспечение интерфейса управляющего, имитирующего управление традиционным транспортным средством, в то же время обеспечивающего отображение текущего состояния и режима работы ГСУ.

В данной статье мы рассмотрим задачу оптимального распределения энергии таким образом, чтобы расход топлива сводился к минимуму при различных режимах работы гибридной силовой установки.

Основным двигателем ГСУ может быть бензиновый, дизельный либо газовый ДВС. В качестве вспомогательного применяют электродвигатель переменного или постоянного тока, пневматический двигатель и т. п. Контур рекуперации энергии состоит из генератора, инвертора, аккумулятора и др. для электродвигателя или редуктора, компрессора, баллонов со сжатым воздухом и т. д. в случае использования пневмодвигателя. Главный элемент ГСУ – распределитель мощности, который обеспечивает распределение потоков мощности между ходовой частью автомобиля, основным двигателем, вспомогательным двигателем и контуром рекуперации энергии [3].

Для слаженной и экономичной работы всей системы необходимо подобрать такое управление, чтобы расход топлива был минимален, а каждая из частей установки не подвергалась чрезмерному износу. Оптимальное управление перераспределением потоков мощности оказывает решающее влияние на эффективность гибридной силовой установки.

Расход топлива на холостом ходу обычно составляет несколько процентов от общего объема топлива, используемого при небольших скоростях при предположении, что робот будет иметь достаточную маневренность. Преимущества старт-стопного режима позволяют сократить потребление топлива на 2,8 % в американском цикле и на 12 % в европейском цикле. Под старт-стопным режимом подразумевается полная остановка двигателя, но при этом он не работает на холостом ходу, когда не требуется движущая сила [4].

Двигатель обычной установки с одним источником энергии может быть остановлен на несколько секунд или на несколько минут, а двигатель в гибридной силовой установке работает только периодически. Во всех ситуациях, когда двигатель перезапускается, производительность будет зависеть от того, в каком состоянии двигатель находился во время остановки. Можно ожидать, что после кратковременной паузы двигатель будет вести себя так же, как при полном нагревании до остановки.

Наилучшая экономия топлива достигается, когда двигатель находится в полностью прогретом состоянии, а температура поверхности в системе сгорания и локальная температура масла на трущихся поверхностях на 10–40 градусов выше стандартных значений температуры для термостатов охлаждающей жидкости. Во время прогрева двигателя после длительного периода отсутствия работы и во время охлаждения после выключения двигателя наиболее чувствительным к отклонениям температуры является коэффициент трения на трущихся поверхностях (при взаимодействии поршня и гильзы, а также коленчатого вала и клапанного механизма в сборе). Во время работы непрогретого двигателя потери на трение высоки из-за зависимости от вязкости масла, которая высока при низких температурах. Таким образом, выигрыш в экономии топлива при остановке двигателя будет уменьшен, если двигатель остынет, а потери на трение будут высокими после повторного запуска.

Прогрев двигателя обычно занимает несколько минут; температурное поле относительно температуры охлаждающей жидкости устанавливается за короткое время и увеличивается в целом по мере повышения температуры охлаждающей жидкости. Температура масла обычно отстает от других температур и является источником неэффективности. В гибридных силовых установках двигатель внутреннего сгорания может отключаться в широком интервале времени с соответственно более широкими колебаниями температуры.

Поскольку подход к оценке общей мощности двигательной установки, в отличие от обычных транспортных средств с двигателями внутреннего сгорания, зависит от конфигурации привода и параметров системы, которая накапливает энергию, изначально использовались следующие условия:

а) мощность робота при торможении на горизонтальной плоскости $P_{\text{трм}}$ может быть выражена следующей формулой:

$$P_{\text{трм}} = k_m \cdot m \cdot a \cdot V,$$

где k_m – коэффициент инерции вращения; m – масса установки; a – ускорение установки (или замедление); V – скорость установки. Для определения k_m можно воспользоваться графиком на рис. 2;

б) мощность, развиваемая при рекуперативном торможении $P_{\text{рек}}$

$$P_{\text{рек}} = k_m \cdot m \cdot a \cdot V \cdot \eta_{\text{рек}},$$

где k_m – коэффициент инерции вращения; m – масса установки; a – ускорение установки (или замедление); V – скорость установки; $\eta_{\text{рек}}$ – КПД при рекуперативном торможении (может быть определено

как количество энергии, развиваемой при торможении до уменьшения скорости транспортного средства);

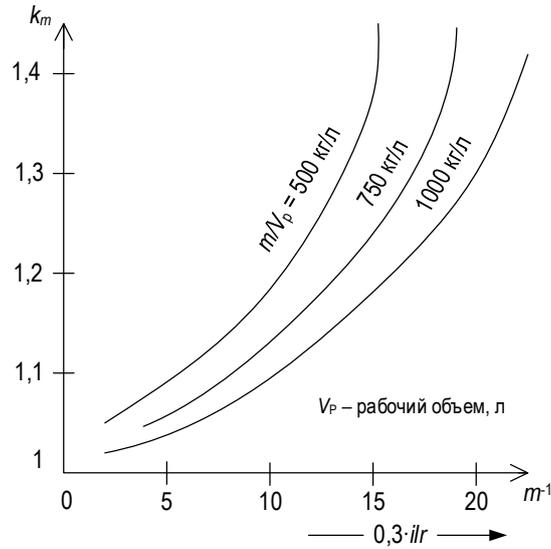


Рис. 2. Зависимость коэффициента инерции вращения от m^{-1}

в) мощность рекуперативного торможения можно рассматривать как электрическую энергию, которая запасается в накопителе (в батарее):

$$P_{рек} = P_{эл} = I_{бат.} \cdot U_{бат.},$$

где $P_{эл}$ – электрическая мощность, которую получает батарея; $I_{бат.}$ – ток батареи; $U_{бат.}$ – напряжение батареи;

г) коэффициент полезного действия при рекуперативном торможении можно оценить с помощью следующего уравнения:

$$\eta_{рек} = \frac{P_{рек}}{P_{трм}} = \frac{I_{бат.} \cdot U_{бат.}}{k_m \cdot m \cdot a \cdot V}.$$

Задача оптимального управления энергопотреблением в установке $u(t)$ состоит в нахождении элемента управления, который приводит к минимизации показателя эффективности за период времени Δt , соответствующий циклу движения или поездке; проблема вызвана ограничениями, которые связаны с:

- а) физическими ограничениями приводов в энергии, запасенной в батарее;
- б) требованием поддерживать количество энергии в батарее в заданных пределах или отслеживать потребление этой энергии.

Различные подходы к решению задачи оптимизации были предложены на протяжении многих лет. В данной статье мы будем ссылаться на динамическое программирование (ДП) и принцип минимума Понтрягина (ПМП).

Оптимизация с помощью динамического программирования

Если цикл движения, представленный мгновенной скоростью транспортного средства во времени, $V(t)$ известен, можно показать решение в форме ДП. Например, найти последовательной вход батареи, которая минимизирует расход топлива на поездку, поддерживая при этом требуемое состояние заряда аккумулятора и соблюдая необходимую скорость установки.

В этой задаче на вход подается мощность, подаваемая аккумулятором в электрическую машину, а состояние заряда аккумулятора является единственным состоянием; все другие подсистемы (двигатель, электроприводы, трансмиссия и т. д.) моделируются с помощью квазистатических моделей эффективности, которые могут быть представлены алгебраическими уравнениями или зависимостями.

Требуемая скорость установки $V(t)$ преобразуется в запрос мощности ГСУ, $P_{\text{зап}}(t)$, зная характеристики нагрузки транспортного средства (аэродинамическое, инерционное, трение качения и трансмиссии, а также уклон дороги). В свою очередь мощность, необходимая для соответствия определенному количеству нагрузки, представляет собой сумму мощности, передаваемой двигателем внутреннего сгорания и электродвигателем $P_{\text{зап}}(t) = P_{\text{ДВС}}(t) + P_{\text{бат.}}(t)$. Например, мы ищем управляющий вход $P_{\text{бат.}}(t)$, который соответствует минимальному расходу топлива при доставке запрошенной мощности установки. Проблема состоит в физических ограничениях в приводах (максимальная и минимальная мощность, которые могут быть доставлены ДВС и ЭД), а также в требованиях к способу управления по поддержанию заряда.

На практике этот подход требует полной информации о запросе скорости установки, и ДП не является реализуемым при задаче управления потоками энергии.

Оптимизация по принципу минимума Понтрягина

Принцип минимума Понтрягина (ПМП) также может быть использован для решения проблемы управления энергией гибридной силовой установки. Если быстрой динамикой системы пренебрегают, то уравнение состояния

$$\dot{x}(t) = f(x, u, t) = -\frac{1}{C_{\text{бат.}}} I_{\text{бат.}}(x, u, t),$$

где x – это состояние заряда; $C_{\text{бат.}}$ – энергетическая емкость батареи; $I_{\text{бат.}}$ – мгновенный ток батареи. Если входная мощность запрашивается от батареи $P_{\text{бат.}}(t)$, которая в свою очередь определяет запрос мощности двигателя $P_{\text{ДВС}}(t)$, расход топлива, то есть гамильтониан может быть определен как

$$H(x(t), P_{\text{бат.}}(t), \lambda(t)) = \dot{m}_f(P_{\text{бат.}}(t)) - \lambda(t) \cdot f(x(t), P_{\text{бат.}}(t), t),$$

где точка f определяется уравнением состояния, а мощность $P_{\text{бат.}}(t)$, минимизированная в каждый момент времени, выражается уравнением

$$P_{\text{бат.}}^*(t) = \lim_{P_{\text{бат.}} \rightarrow \min} H(x(t), P_{\text{бат.}}(t), \lambda(t)).$$

Переменная совместного состояния, $\lambda(t)$, выражается как

$$\dot{\lambda}(t) = -\lambda(t) \frac{\partial f(x(t), u(t))}{\partial x}.$$

Решение с помощью ПМП при условии, что совместное состояние изменяется во времени, удовлетворяет

$$H(t, x, u, \lambda) = \dot{m}_f + \lambda(t) \dot{x}(t).$$

Решение ПМП также зависит от цикла, так как оптимальное начальное условие для совместного состояния зависит от цикла езды. Зависимость от цикла езды, выраженная ли она в виде эквивалентного расхода топлива или в качестве начального совместного состояния в решении ПМП, является неизбежным следствием того факта, что расход топлива установки сильно зависит от условий управления, которые влияют на нагрузку установки.

Динамическое программирование позволяет найти и исследовать особое свойство гибридной силовой установки – оптимальное управление. Оно не создается разработчиками непосредственно, а формируется схемой ГСУ, ее компонентным составом и самой установкой. Исследование оптимального управления выявляет пути создания оптимизированной стратегии, которая будет использована в реальной ГСУ. Критерии выбора могут быть различными. Все эти сочетания обеспечиваются только настройками системы управления ГСУ и могут быть выбраны проектировщиком.

Таким образом, управление гибридной силовой установкой является обширным предметом изучения для теоретиков и практиков управления, где представлены темы, связанные с оптимизацией и оптимальным управлением (для управления энергопотреблением, износом батареи), гибридным управлением (для обеспечения управляемости), адаптивным и прогнозным управлением, а также предварительным расчетом. Кроме того, использование мобильных роботов на базе гибридных силовых установок представляет интересные возможности для интеграции в различные сферы производств, связанных с инфраструктурой электрических сетей и сетей связи.

Библиографический список

1. Приходский А. А., Выграновская А. В., Квас Е. С. Гибридные силовые установки мобильных роботов // Завалишинские чтения (Молодежный сборник), 2020. 7 с.
2. Сериков С. А. Постановка задачи оптимального управления гибридной силовой установкой // Вестник ХНАДУ: Сб. научн. тр. Харьков: ХНАДУ, 2008. 6 с.
3. Куликов И. А., Селифонов В. В., Филонов А. И. Поиск оптимального управления гибридной силовой установкой автомобиля по критерию баланса его экологических и топливно-экономических свойств // Известия МГТУ МАМИ. 2010. № 2 (10). С. 44–51.
4. Управление трансмиссией для гибридных силовых установок и электромобилей. URL: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-1-4471-5102-9_75-1#Equ4 (дата обращения: 14.07.2022).

УДК 629.111

А. В. Выграновская

студентка кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Мартынов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ДАТЧИКИ ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Данная статья посвящена системе управления вентильного двигателя, в частности, важнейшему ее элементу – датчику положения ротора, с помощью которого отслеживается и регулируется скорость вентильного электропривода. В статье приведена функциональная схема вентильного электропривода, рассмотрены основные датчики положения ротора, применяемые в вентильных приводах, и выбраны наиболее оптимальные варианты.

Введение

В современном мире все больше на смену автомобилям с двигателями внутреннего сгорания приходят электромобили – эффективные и экологичные, вызывающие большой интерес у современного общества. Как и у автомобилей с ДВС, у электромобилей имеется множество вариантов исполнения, которые с течением времени совершенствуются, а в конструкцию привносится множество новшеств. В конструкции электропривода кроме самой электрической машины имеется ряд устройств, которым также необходимо уделять пристальное влияние.

Рассмотрим, к примеру, функциональную схему вентильного двигателя на рис. 1 [1]. Схема питается от источника ИП, с помощью силовых ключей СК осуществляется управление синхронной машиной СМ. Сигнал на вентили поступает от датчика положения ротора ДПР, с помощью тахогенератора ТГ регулируется скорость вращения.

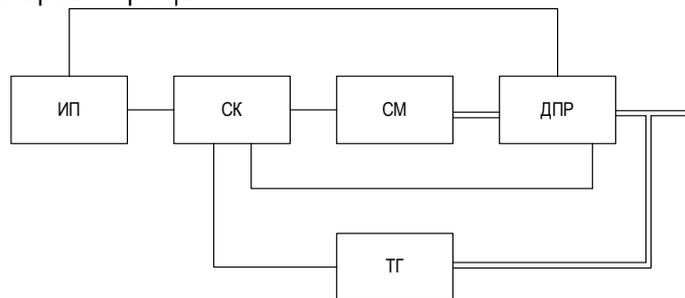


Рис. 1. Функциональная схема вентильного электропривода:
ИП – источник питания; СК – силовые ключи; СМ – синхронная машина
на постоянных магнитах; ДПР – датчик положения ротора; ТГ – тахогенератор

Датчики положения ротора предназначены для обеспечения надежного и эффективного управления электрической машиной. Рассмотрим их применение для вентильного электропривода, в основе которого лежит синхронный тяговый двигатель электромобиля.

Виды датчиков

Датчики положения ротора можно разделить на две основные группы: цифровые и аналоговые. Проанализируем каждый из видов подробнее и выделим их достоинства и недостатки.

Аналоговые датчики составляют редуктосины, индуктосины и вращающиеся трансформаторы (ВТ), называемые также резольверами. Главным очевидным недостатком этих датчиков является получаемый сигнал, который может оказаться несовместимым с системой управления, принимающей информацию о положении ротора. Некоторые аналоговые датчики являются комбинированными и передают цифровой сигнал, который, однако, может иметь неподходящее значение напряжения уровня сигнала, из-за чего впоследствии приходится преобразовывать и вносить дополнительные элементы в систему. Поэтому следует рассматривать датчики, которые позволят найти наиболее эффективный и экономичный подход к созданию вентильного электропривода.

Вентильные двигатели могут иметь как синусоидальную, так и трапецевидную ЭДС, в зависимости от вида которой следует производить выбор датчика положения. Цифровые датчики (фотоэлектрические, индуктивные, датчики на основе эффекта Холла), как правило, используются в машинах с трапецевидной ЭДС. Аналоговые датчики в основном применяются в двигателях с синусоидальной ЭДС, они позволяют непрерывно управлять вектором тока благодаря своей высокой точности и плавности. Цифровые датчики обладают недостаточной точностью, чтобы применяться в машинах с синусоидальной ЭДС, кроме того, большая погрешность электромагнитного момента ведет к возникновению пульсаций тока, что отрицательно сказывается на эффективности работы двигателя.

В электромобилях вентильные двигатели выполняются чаще всего на основе синхронной машины с постоянными магнитами. Поэтому датчик для синхронной машины будем выбирать, ссылаясь на конкретный двигатель, описанный и рассчитанный в [1]. Предполагается, что напряжение будет иметь синусоидальную форму, исходя из этого следует выбрать датчик, который способен работать в широком диапазоне скоростей вращения электродвигателя. Такой подход обеспечит корректную работу на всем протяжении тяговой характеристики.

Существенной разницей между цифровыми и аналоговыми датчиками является ограничение применения относительно развиваемой скорости двигателя. Чаще всего цифровые датчики рекомендуется применять на малых скоростях вращения, то есть 0–3000 об./мин., аналоговые же находят применение в машинах с малыми и средними скоростями, то есть 0–6000 об./мин. [2]. Таким образом, можно заключить, что для рассматриваемого привода [1] однозначно следует выбирать аналоговые датчики положения ротора.

Аналоговые датчики

Проанализируем более подробно свойства и характеристики аналоговых датчиков. Индуктосины – электромагнитные датчики, характеризующиеся высокой точностью и надежностью, состоящие из двух дисков – статора и ротора. Индуктосины являются бесконтактными микромашинами, поэтому имеют длительный срок службы, благодаря чему получили за последнее время широкое распространение. Как уже было сказано, для работы в заданной системе важную роль играет уровень получаемого выходного сигнала, который в индуктосинах оказывается достаточно низким и составляет порядка 3–5 мВ [3], что делает затруднительным их использование в качестве датчиков положения ротора вентильного двигателя. Индуктосин может работать как в фазовой, так и в режиме амплитудной модуляции, причем в первом случае выходное напряжение описывается уравнением

$$U_{\text{вых}} = k_{\text{T}} U_{\text{п}} \sin(\omega t + p \cdot \varphi),$$

а во втором

$$U_{\text{вых}} = k_{\text{T}} U_{\text{п}} \sin \varphi t \sin(\psi - p \cdot \varphi),$$

где k_{T} – коэффициент трансформации, угол $\psi = 90^\circ - \varphi$; p – число пар полюсов; $U_{\text{п}}$ – питающее напряжение; φ – сдвиг фазы выходного напряжения относительно питающего напряжения. Ротор и статор индуктосина представлены на рис. 2 [3].

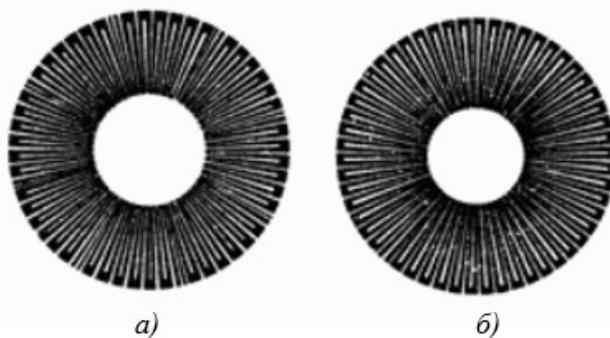


Рис. 2. Ротор (а) и статор (б) индуктосина

Индукционные редуктосины – разновидность вращающихся трансформаторов, также являются бесконтактными устройствами, состоящими из стальных пластин. Эти датчики обладают меньшей точностью по сравнению с вращающимися трансформаторами и индуктосинами. Объясняется это особенностями конструкции редуктосина: обмотка выполняется сосредоточенной, что делает ее чувствительной ко всем нечетным высшим гармоникам. Уменьшить это влияние можно повышением числа зубцов статора, а также увеличением передаточного отношения редукции, отчего габариты датчика значительно увеличиваются. Значения напряжений амплитуд выходных сигналов описываются следующими уравнениями

$$U_{\text{п}} = U_0 \sin \omega t;$$

$$U_{\text{sin}} = k_{\text{T}} U_0 \sin(\omega t + \varphi) \sin(n \cdot \alpha);$$

$$U_{\text{cos}} = k_{\text{T}} U_0 \sin(\omega t + \varphi) \cos(n \cdot \alpha),$$

где $U_{\text{п}}$ – напряжение питания; U_{sin} , U_{cos} – выходные сигналы с синусной и косинусной обмоток соответственно; k_{T} – коэффициент трансформации; U_0 – амплитуда напряжения питания; n – число зубцов ротора; α – угол поворота; φ – сдвиг фазы выходного напряжения относительно питающего напряжения. Схема индукционного редуктосина представлена на рис. 3.

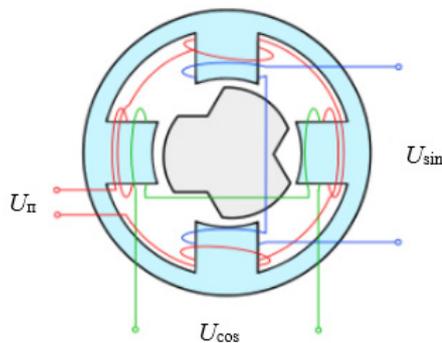


Рис. 3. Индукционный редуктосин

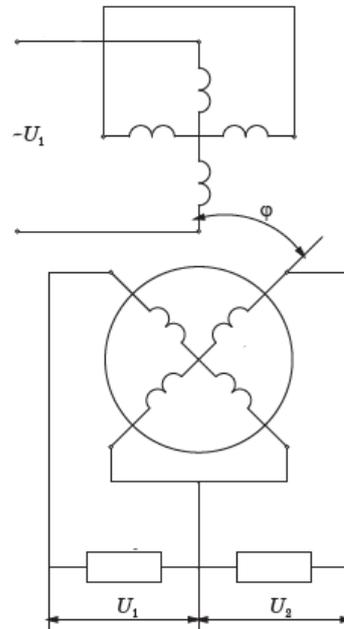


Рис. 4. Схема резольвера

Резольверы – самые распространенные информационные машины, используемые в качестве датчиков положения ротора при синусоидальной форме напряжения.

Вращающиеся трансформаторы, несомненно, обладают очень простой конструкцией, надежностью, что обуславливается отсутствием контакта между обмотками и другими деталями ВТ [4], но имеют большие габариты и массу, потребляют довольно много энергии. Их также не рекомендуется использовать при температурах ниже -60 °С и выше 100 °С. Вместе с тем главное их достоинство – точность, которая значима для функционально важнейшей части приводной системы, а уровень сигнала оказывается достаточным для обработки и может оцениваться порядка 1 В. Напряжения на первичной и вторичной обмотках описываются выражениями:

$$U_1 = k_{\text{T}} U_{\text{п}} \sin \varphi;$$

$$U_2 = k_{\text{T}} U_{\text{п}} \cos \varphi,$$

где φ – угол поворота ротора. Схема ВТ приведена на рис. 4.

Заключение

Как видим, аналоговые датчики имеют множество особенностей в своем применении. Сравнив их, можно сказать, что для приводов переменного тока, где для четкого и плавного управления требуется высокая точность датчиков положения, целесообразно рассматривать возможность использования индуктосинов и резольверов. Поскольку первые требуют дополнительного устройства преобразования, вращающиеся трансформаторы оказываются предпочтительней, что объясняет их наибольшую распространенность. Тогда можем заключить, что для вентильного двигателя на основе синхронной машины, предназначенного для использования в электромобилях, лучше всего выбирать вращающиеся трансформаторы, показывающие наибольшую эффективность, точность и универсальность.

Библиографический список

1. *Выграновская А. В.*: [Рукопись]: дипломный проект (работа) Тяговый электропривод автомобиля: дипл. работа. СПб.: ГУАП, 2021, 55 с.
2. *Шаров В. С.* Сверхвысокоскоростные асинхронные электродвигатели. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 288 с.
3. Устройства и элементы систем автоматического регулирования и управления. Техническая кибернетика. Книга 1. Измерительные устройства, преобразующие элементы и устройства / Под ред. В. В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1973. 671 с.
4. *Мартынов А. А.* Электрический привод: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2015. 524 с.

УДК 621.396.94

А. Д. Гинзбург

ученица ГБОУ лицея № 144

Н. А. Венедиктов

студент кафедры радиотехнических систем

Д. А. Музафаров

студент кафедры радиотехнических систем

Н. В. Поваренкин – заведующий кафедры радиотехнических систем, кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБОСНОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ 5G-ПРИЕМНИКА**

Выбор структурной схемы является важнейшим этапом проектирования приемника, в значительной степени определяющим последующие решения по принципиальным схемам и параметрам приемника. Состав структурной схемы, назначение отдельных узлов приемника и выполняемые ими функции подчинены основной задаче – выделению информации из принимаемого сигнала [1].

Принимаемый сигнал представляет собой сумму полезного сигнала и помех. С целью уменьшения влияния помех элементы рассматриваемых структурных схем могут усиливать или ослаблять, фильтровать и переносить спектр полезного сигнала.

Для дальнейшего рассмотрения возможных структурных схем 5G-приемника предполагается, что непосредственная демодуляция сигнала осуществляется цифровым способом. Бурное развитие цифровой связи и уменьшение технологического процесса производства электроники привело к появлению быстродействующих мобильных процессоров и аналого-цифровых преобразователей (АЦП). Именно они формируют системы цифровой обработки сигнала (ЦОС) приемника.

Современные цифровые радиоприемные устройства преимущественно выполняются по супергетеродинной схеме [1]. Но за счет использования систем ЦОС с частотой дискретизации до 10 ГГц [2] реализуется схема прямого усиления. Далее в работе исследуются две схемы приемников для нисходящего канала диапазона n3 (1805–1880 МГц) [3], собранные на компонентах конструктора X-Microwave.

Приемник прямого усиления

Тракт приемника прямого усиления, представленного на рис. 1, включает малошумящий усилитель МШУ и полосовой фильтр. Их характеристики определяются требуемой полосой приема 1805–1880 МГц.

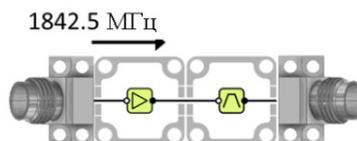


Рис. 1. Структурная схема приемника прямого усиления

На рис. 2 представлены амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) МШУ (а) и ПФ (б). Усилитель имеет линейную характеристику во всей полосе приема, разброс не превышает 0,02 дБ. МШУ предназначен для снижения уровня собственных шумов приемника и определяет его чувствительность. Полоса пропускания ПФ по уровню -3 дБ составляет 95 МГц. Центральные частоты соседних каналов подавляются на 31–43 дБ.

На рис. 3 представлена сквозная АЧХ характеристика приемника прямого усиления.

На ней видно, как элементы тракта выделяют требуемый сигнал из других сигналов и помех.

Показателей линейности, динамического диапазона и скорости обработки современных АЦП может быть недостаточно для работы большинства современных радиоприемных устройств напрямую с ВЧ сигналом. Такой вариант построения пока остается малоприменимым. Даже при условии

дальнейшего увеличения динамического диапазона и скорости обработки отсчетов с развитием элементной базы использование подобных АЦП в массовой радиоаппаратуре не представляется возможным ввиду высокой стоимости и значительного энергопотребления [5].

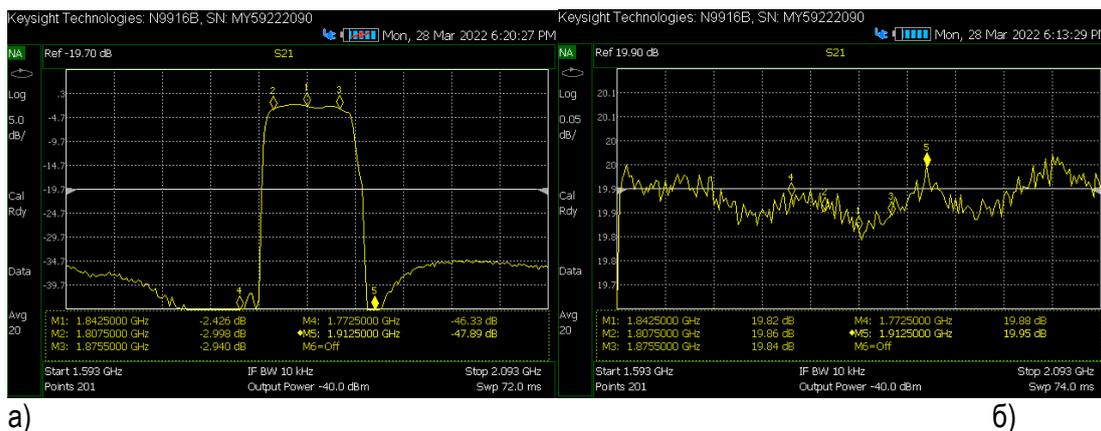


Рис. 2. АЧХ структурных элементов

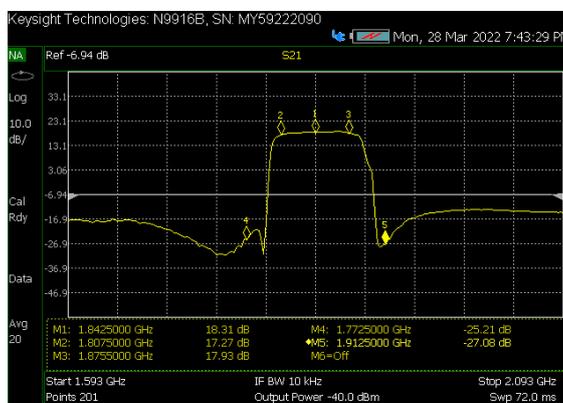


Рис. 3. Сквозная АЧХ приемника прямого усиления

Супергетеродинная схема

В супергетеродинном приемнике за счет смесителя входной сигнал возможно оцифровать и обработать на частотах ниже или выше несущей. Смеситель представляет собой нелинейный элемент, на первый вход которого подается модулированный сигнал на радиочастоте (РЧ), на второй вход – сигнал гетеродина (рис. 6), а с выхода смесителя снимаются комбинационные частоты без изменения формы огибающей (рис. 7). Среди комбинационных частот с помощью фильтра выделяется промежуточная частота (рис. 7, б). На рис. 4 представлена структурная схема исследуемого тракта супергетеродинного приемника.

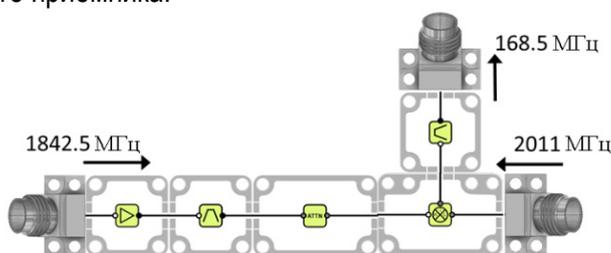


Рис. 4. Структурная схема супергетеродинная приемника

Таким образом, достигается высокая селективность по соседнему каналу приема. Недосток супергетеродинных приемников – наличие побочных каналов приема, из которых основными (наиболее опасными) являются зеркальный и прямой каналы [6]. Ослабление приема по побочным каналам осуществляется повышением селективности преселектора (рис. 3).

Чувствительность супергетеродинных приемников почти не зависит от частоты настройки, поскольку усиление сигнала осуществляется в основном в усилителе промежуточной частоты (УПЧ). Легко достижимый запас усиления позволяет применить систему автоматической регулировки усиления (АРУ) и расширить тем самым динамический диапазон приемника. В нашей схеме АРУ представляется из себя управляемый аттенуатор, параметры которого меняются в пределах 16 дБ (рис. 5, а). Недостаток супергетеродинных приемников – наличие побочных каналов приема, из которых основными (наиболее опасными) являются зеркальный и прямой каналы.

Ослабление приема по побочным каналам осуществляется повышением селективности преселектора и линейности фильтра ПЧ благодаря применению высокодобротных фильтров ПЧ (рис. 5, б) [5], а также правильным выбором значения промежуточной частоты. В нашем случае промежуточная частота равна 168 МГц, а полоса пропускания фильтра 29 МГц.

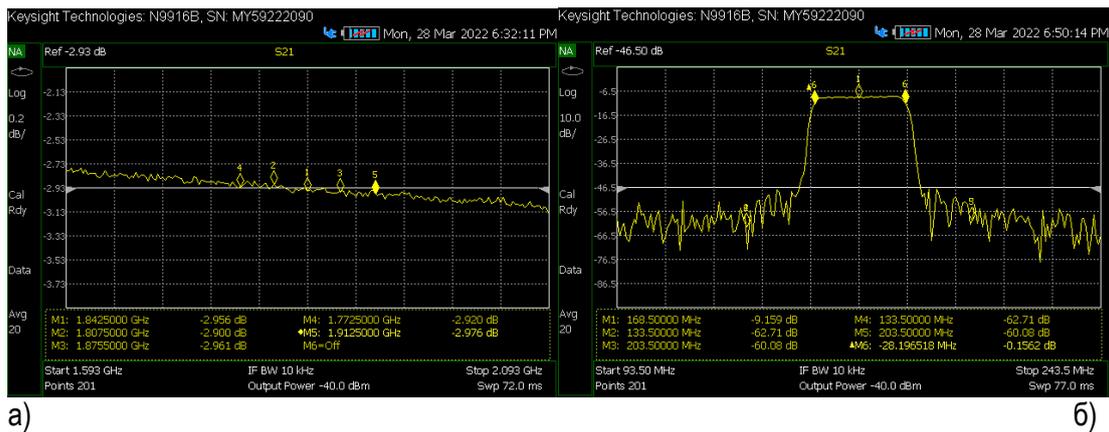


Рис. 5. АЧХ структурных элементов супергетеродинного приемника

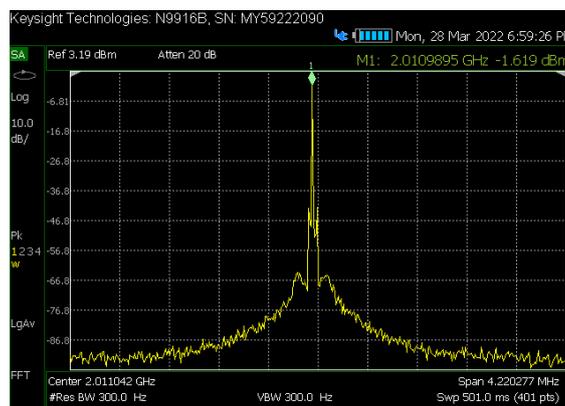


Рис. 6. Амплитудный спектр сигнала на выходе гетеродина

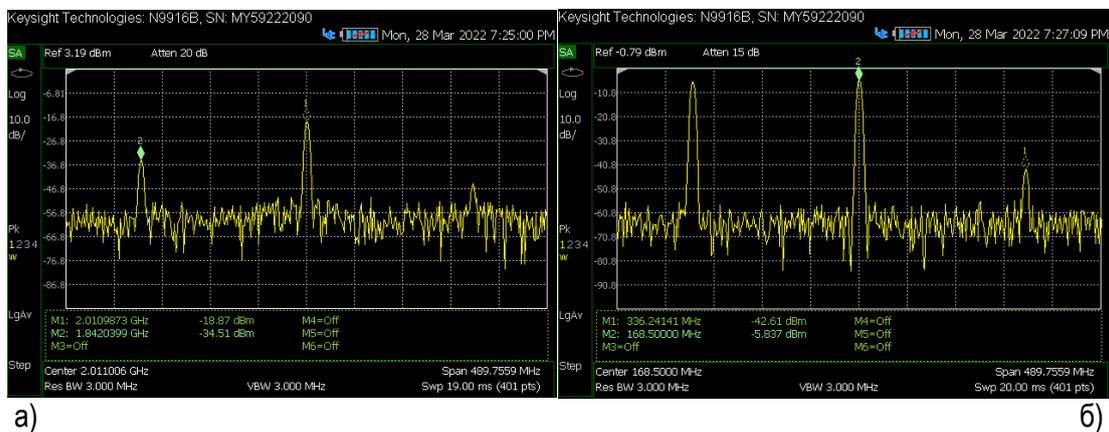


Рис. 7. Спектр комбинационных частот на выходе смесителя

Выводы

Супергетеродинная архитектура подходит для реализации 5G-приемника. Поднесущие являются близкими по частотному диапазону. Также достоинством такой архитектуры является минимальных требований к быстродействию АЦП, что приводит к уменьшению энергопотребления. Супергетеродинные приемники характеризуются высокими показателями качества, однако имеют более сложную схему. Входная цепь (ВЦ) и УРЧ осуществляют усиление и предварительную селекцию сигналов, что способствует уменьшению искажений в смесителе преобразователя частоты (ПЧ).

Приемники прямого усиления просты. В них отсутствует высокочастотный зеркальный канал и комбинационные помехи. Чувствительность ограничена уменьшающимся с повышением рабочей частоты усилением, а селективность – возможным числом фильтров и трудностью сопряжения большого элементов. Также в такой схеме необходимо использовать ресурсоемкие высокоскоростные АЦП.

Библиографический список

1. *Велигоша А. В.* Радиоприемные устройства: лабораторный практикум. Ставрополь: СКФУ, 2017. 100 с.
2. Документация на АЦП AD9213. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9213.pdf> (дата обращения: 22.03.2022).
3. Документация стандарта 5G 3GPP rel.17. URL: <https://portal.3gpp.org//desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3283> (дата обращения: 22.03.2022).
4. *Галкин В. А.* Основы программно-конфигурируемого радио. М.: Горячая линия – Телеком, 2015. 375 с.
5. *Галкин В. А.* Цифровая мобильная радиосвязь. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 432 с.
6. *Плаксиенко В. С., Плаксиенко Н. Е., Плаксиенко С. В.* Устройства приема и обработки сигналов: учеб. пособие для вузов. М.: Учебная литература, 2004. 376 с.
7. *Пушкарев В. П.* Устройства приема и обработки сигналов: учеб. пособие. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. 201 с.

УДК 621.311.2

К. А. Голованова, Д. М. Огородников, С. В. Романов

студенты кафедры электромеханики и робототехники

В. Е. Белай – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АСИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ В ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ

В наше время в непрестанно растущих городах получение электрической энергии и снабжение ею районов – одно из главных задач инженеров. Современные ветроэнергетические установки (здесь и далее – ВЭУ) стали вполне самостоятельной и конкурентоспособной технологией получения электрической энергии для выполнения задач, связанных со снабжением отдельных районов и целых городов. Смогут ли данные установки снабжать определенную область напрямую зависит от конструктивных особенностей и в первую очередь от выбора генератора. В данной статье будет поднят вопрос актуальности применения асинхронных генераторов переменного тока в составе ВЭУ.

на сегодняшний день в ВЭУ используются следующие генераторы [1]:

- асинхронные с короткозамкнутым ротором;
- синхронные с электромагнитным возбуждением;
- синхронные с магнитоэлектрическим возбуждением.

В большинстве первых ВЭУ стояли асинхронные генераторы, однако сейчас они заменяются на синхронные. Ответ на вопрос, почему так происходит, кроется во множестве факторов.

Будучи установленным, асинхронному генератору требуется потреблять откуда-то реактивную мощность для формирования магнитного поля. Это означает, что ВЭУ с использованием асинхронных генераторов должны быть подключены к сети совместно с иными источниками генерации энергии (рис. 1) или, если необходима автономная работа установки, должны иметь персональные источники реактивной мощности (используются батареи конденсаторов). Это в первом случае делает ВЭУ привязанной к определенной территории и зависимой от сети, к которой она подключена, а во втором создает неудобства и лишние затраты на покупку и размещение источника реактивной мощности вблизи установки. Еще один существенный минус асинхронного генератора в том, что он выдает «грязный» переменный ток разной частоты из-за чего имеется надобность в установке инвертора – устройства, преобразующего данный переменный ток в постоянный и затем обратно в переменный, но уже промышленной частоты 50 Гц.

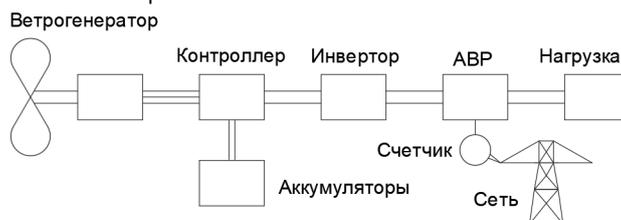


Рис. 1. Схема включения ВЭУ с асинхронным генератором в сеть

Синхронные генераторы выглядят привлекательнее на фоне недостатков асинхронных. Им для работы не нужно потреблять реактивную мощность – они в полной мере выдают ее в сеть. У них выше КПД (рис. 2), а выходной ток имеет частоту промышленного качества 50 Гц [2]. Вдобавок, если сравнивать асинхронный и синхронный генераторы по массогабаритным показателям, то последние при тех же мощности и частоте вращения будут легче и компактнее [3].

Однако у синхронных генераторов также есть свои минусы. Синхронному генератору с электромагнитным возбуждением требуется дополнительный источник напряжения для питания электромагнитов, входящих в конструкцию синхронного генератора. Есть два метода запитывания магнитов:

- щеточно-коллекторный узел;
- схема с самовозбуждением.

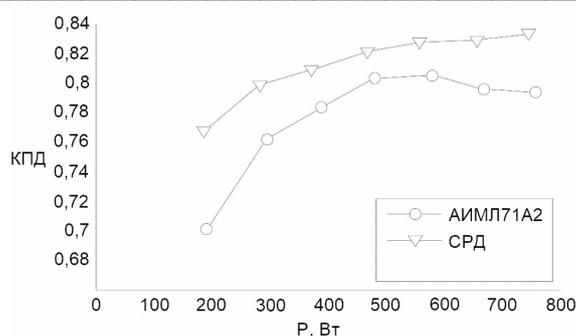


Рис. 2. Сравнение КПД асинхронного и синхронного генераторов

В первом случае появляется скользящий контакт, что снижает надежность конструкции, повышает риск возникновения пожара и создает проблемы в виде периодических замен щеток в виду их постоянного износа. Во втором случае источник постоянного тока располагается на валу генератора, что позволяет избавиться от нужды в дополнительном источнике питания, однако усложняет конструкцию и делает ее еще менее надежной. Оба способа нецелесообразны для применения в ВЭУ.

Однако благодаря развитию научно-технического прогресса была разработана технология создания сильных постоянных магнитов на основе редкоземельного металлов, в особенности неодима. Это дало сильный толчок в области проектирования электрогенераторов, и инженерами был представлен синхронный генератор на постоянных магнитах. Этот тип электрогенераторов решает сразу две проблемы синхронных генераторов с электромагнитным возбуждением: упрощается и становится надежнее конструкция, теряется потребность в наличии дополнительного источника питания для возбуждения электромагнитов. КПД таких синхронных генераторов еще выше, чем у генераторов с электромагнитами и, соответственно, выше чем у асинхронных генераторов. Но всему есть своя цена, в случае с данными генераторами, в прямом смысле. При одинаковой мощности ВЭУ с синхронным генератором на постоянных магнитах в 1,2–3 раза дороже ВЭУ с асинхронным генератором.

Однако, несмотря на цену, в промышленной энергетике предпочтение отдается качественным характеристикам, а именно КПД, массогабаритным параметрам и надежности, по которым однозначно выигрывают ВЭУ с установленными синхронными генераторами на постоянных магнитах. А асинхронные генераторы из-за своей относительной дешевизны в основном ставят на ветряные установки малой мощности, например, для обеспечения загородных домов или небольших хозяйств.

В заключение стоит отметить, что хотя ветроэнергетическая промышленность продолжает активно развиваться, доля вырабатываемой с помощью ВЭУ энергии в России крайне мала (около 1 % от общей выработки энергии) [4]. Это связано в большей степени со слабо развитой отечественной промышленностью в области добычи редкоземельных металлов, малой экспериментальной базой и отсутствием глобальных планов в области развития альтернативных источников энергии.

Библиографический список

1. *Высоцкий В. Е. Олейников А. М.* Специальные электромеханические преобразователи для электротехнических комплексов автономных объектов. URL: <https://иптс.рф/wp-content/uploads/2021/05/Монография-Олейникова-А.М.-Высоцкого-В.Е.-Спец.-эл.-мех.-преобразоват.-для-эл.-тех.-компл.-авт.-объектов-ИПТС.pdf> (дата обращения: 15.03.2022).
2. *Дмитриевский В. А. Прахт В. А. Казакбаев В. М. Поздеев А. С.* Экспериментальное сравнение асинхронного и синхронного реактивного электродвигателей. URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/35324/1/epp-2015-06.pdf> (дата обращения: 15.03.2022).
3. *Григорьев М. А.* Удельные массогабаритные показатели электроприводов. URL: <https://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/4852/16.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 15.03.2022).
4. *Игнатьева А.* Выработка электроэнергии ветряными и солнечными станциями в России. URL: <https://neftegaz.ru/news/Alternative-energy/723541-vyrabotka-elektroenergii-vetryanymi-i-solnechnymi-stantsiyami-v-rossii-v-yanvare-2022-g-vyroslo-na-1/> (дата обращения: 15.03.2022).

УДК 629.114, 004.93

Р. С. Головков

ученик 10 класса лицея № 144

Л. Д. Кузнецов – магистр кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ТЕХНОЛОГИИ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В СИСТЕМАХ НАВИГАЦИИ АВТОНОМНОГО ТРАНСПОРТА

Введение

В последнее время мы все чаще слышим про автономные автомобили. Данная отрасль активно развивалась последние 20 лет. Такому резкому развитию этой сферы поспособствовало расширение возможностей технологий, связанных в первую очередь с машинным обучением и системами навигации автономных систем. Системы навигации являются неотъемлемой частью любой автономной мобильной системы. Для управления подобной системой необходимо получать данные с различных датчиков об окружающей среде. Данные впоследствии передаются модели машинного обучения, и на основе этих данных искусственный интеллект принимает решения по управлению автономным транспортным средством. В этой статье будут рассмотрены как датчики, используемые в подобных системах, так и программное обеспечение, а также произведен анализ существующих решений.

Существующие решения

Авторы статьи [1] классифицируют транспортные средства на 5 уровней автоматизации. В этой статье будут рассматриваться технологии, которые могли бы использоваться для полностью автономного транспортного средства, то есть 5-го уровня по предложенной классификации. На сегодняшний день создается множество коммерческих решений в этой области. Рассмотрим некоторые из них.

Современным лидером по созданию беспилотных транспортных средств является Tesla. Компания Tesla представила свою первую версию автопилота в 2014 году. Tesla использует связку из LIDAR датчиков, ИК сенсоров, камер и ультразвуковых датчиков.



Рис. 1. Автомобиль компании Tesla [1]

Российская компания Яндекс также представила свой беспилотный автомобиль в мае 2017 года. Он оснащен LIDAR датчиком, камерой и ИК сенсором. Летом 2019 года начались тестирования беспилотного автомобиля Яндекса 4 уровня автономности на дорогах Москвы. Внешний вид такого решения представлен на рис. 2.



Рис. 2. Беспилотный автомобиль компании Яндекс [1]

Аппаратное обеспечение

Для начала вкратце разберемся, как устроен беспилотный автомобиль. Есть принимающие устройства, такие как LIDAR, обычная камера и IR sensor.

LIDAR – это датчик, используемый для замера расстояния до какого-либо препятствия путем отправления луча света и измерения времени на его возврат, выводом лидара является 3D-сцена, или так называемое облако точек [2]. Камера позволяет машине «видеть» обстановку окружающей среды.

IR sensor, или ИК сенсор, в автономных автомобилях нужен для обнаружения препятствий, его скорости и направления [3]. Основной задачей ИК сенсоров является обнаружение препятствия на большом расстоянии примерно от 300 м. Кроме того, ИК сенсоры можно настроить на меньшую дальность, но тогда не будет данных о объектах на расстоянии. Главным недостатком ИК сенсоров является проблема в понимании формы и размеров объекта. Также из-за того, что ИК сенсоры используют инфракрасные лучи, они плохо видят или вовсе не видят радиопоглощающие материалы. Для более четкого представления о форме и размере как раз используется LIDAR, но у LIDAR тоже есть свои минусы. Например, высокая стоимость, сбои при работе во время дождя или других типов осадков, плохое понятие плотности объекта может принять газообразное тело за твердое. По этой причине их используют вместе с камерой и ИК сенсорами. После получения всех данных с датчиков они отправляются к нейронной сети на обработку.

Программное обеспечение

Чтобы понять, какое программное обеспечение может использоваться в автономном транспортном средстве, необходимо знать, для каких задач оно должно применяться. На сегодняшний день основными задачами, которые должны решать автономные транспортные средства, являются задачи [4]:

- локализации;
- навигации;
- детектирования объектов окружающей среды.

Для задач локализации и навигации в автономных транспортных средствах, как и в мобильных робототехнических системах, используются различные так называемые SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) методы. Они позволяют в реальном времени решать задачи локализации, навигации и построения карты местности. В основном данный подход используется в автономных транспортных средствах для решения задач навигации по заранее известной карте и во избежание столкновений с динамическими препятствиями.

В беспилотных автомобилях в качестве глобальной карты могут использоваться различные карты улиц, таких как Open Street Map или Google maps. Для получения глобальных координат автомобиля в таком случае будет использоваться GPS. Недостатком подобного подхода может являться неточность GPS, ошибка позиционирования которого может достигать от 7 до 13 м в городских условиях без использования дополнительных систем позиционирования [5]. В свою очередь авторы [6] произвели сравнения позиционирования при помощи GNSS (Global Navigation Satellite System) и системы GNSS с использованием IMU (Inertial measurement unit), другими словами, гироскопа. В таком сочетании авторам удалось достичь ошибки позиционирования в несколько десятков сантиметров, в то время как ошибка позиционирования по спутниковой системе составляла до нескольких метров.

Для обеспечения более высокой точности локализации транспортного средства используются трехмерные карты местности, построенные заранее при помощи упомянутых выше аппаратных средств. Так, авторы статьи [7] демонстрируют создание трехмерной карты признаков в городских условиях. Подобная карта может создаваться с применением моделей машинного обучения с кластеризацией облака точек [8]. Пример трехмерной карты представлен на рис. 3.

Здесь мы подошли к последней задаче, которую должно решать программное обеспечение автономного транспортного средства. Детектирование объектов помогает автономному транспорту лучше ориентироваться в условиях окружающей среды. С помощью распознанных объектов можно позиционироваться в пространстве, избегать динамических препятствий, предугадывать изменение окружающей среды. Помимо этого, можно обучать модели машинного обучения распознавать дорожные знаки или дорожную разметку для соблюдения правил дорожного движения.

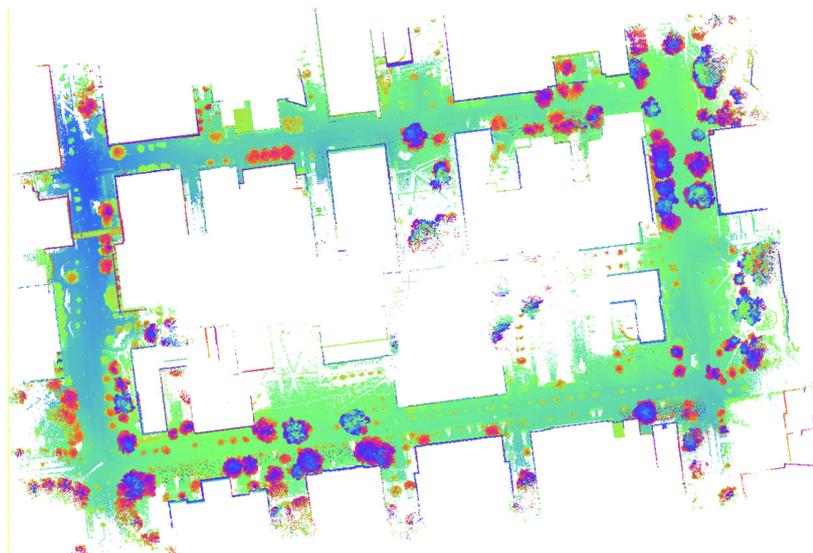


Рис. 3. Пример трехмерной карты, полученной при помощи LIDAR [6]

Заключение

В статье были рассмотрены технологии как аппаратного обеспечения, так и программного обеспечения, которые используются на сегодняшний день в беспилотных транспортных средствах. Направление разработки беспилотных транспортных средств поможет человечеству в будущем сократить количество транспортных происшествий, снизить риски перевозки людей и транспортировки грузов.

Библиографический список

1. Ondruš J. How do autonomous cars work? // *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 44. P. 226–233.
2. «Лидар». Статья из свободной энциклопедии Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Лидар> (дата обращения: 22.03.2022).
3. «What is an IR sensor?». URL: <https://www.fiercееlectronics.com/sensors/what-ir-sensor> (дата обращения: 22.03.2022).
4. Kato S. An open approach to autonomous vehicles // *IEEE Micro*. 2015. Vol. 35. N 6. P. 60–68.
5. Merry K., Bettinger P. Smartphone GPS accuracy study in an urban environment // *PloS one*. 2019. Vol. 14. N 7. P. e0219890.
6. Ilci V., Toth C. High definition 3D map creation using GNSS/IMU/LiDAR sensor integration to support autonomous vehicle navigation // *Sensors*. 2020. Vol. 20. N 3. P. 899.
7. Jeong J., Yoon T., Park J. Towards a meaningful 3D map using a 3D lidar and a camera // *Sensors*. 2018. Vol. 18. N 8. P. 2571.
8. Nagy B., Benedek C. Real-time point cloud alignment for vehicle localization in a high resolution 3D map // *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV) Workshops*. 2018.

УДК 004.056.57

Г. И. Голосов

ученик 10 класса ГБОУ лицея № 144

В. В. Венскель, Р. Р. Танцыкужин – студенты кафедры управления в технических системах – научные руководители

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ. ОБЗОР ПРАКТИКИ ПРИМЕНЕНИЯ

Введение

В условиях цифровизации различных сфер жизни все больше и больше идет развитие ее преступного сегмента. Нарушение работы сайтов, приложений, устройства компаний и даже банальный вирус у вас на компьютере – все это дело рук злоумышленников, желающих заполучить или уничтожить важную для них информацию.

Существует множество видов кибератак, но все они делятся на 3 типа: атаки носящие массовый характер, целевые атаки и кибероружие. Первый тип атак не требует от злоумышленника каких-либо навыков. Зловредный код самостоятельно узнает важную информацию (данные банковских карт, личные данные и т. п.) и самостоятельно передает ее ему. Второй тип используется преступниками для получения информации от первых лиц компаний или организаций. Благодаря своим коммуникационным навыкам и вредоносному программному обеспечению (ПО) злоумышленник ворует нужные данные так, что не всегда жертва узнает об этом. Третий тип направлен исключительно на государства, а конкретно на государственные органы для нарушения работы цепей связи и коммуникации в стране, а также для рассекречивания государственных тайн.

Для обеспечения защиты специалисты в области кибербезопасности создают и поддерживают работу программ, обеспечивающих безопасность в сети Интернет. С помощью них владельцы крупных компаний, государственные учреждения и обычные пользователи смогут обезопасить себя и свою аппаратуру от злоумышленников.

Понятие кибербезопасности

Кибербезопасность – это раздел информационной безопасности, характеризующий невозможность возникновения ущерба данным пользователя, сочетающий в себе совокупность методов защиты от злоумышленников [1]. Кибербезопасность находит применение в самых разных областях – от бизнес-сферы до мобильных технологий.

В большинстве случаев наиболее успешные атаки злоумышленников направляются на серверы и компьютеры пользователей, подключенные к Интернету. Среди инструментов, которые используются для атаки компьютеров, вредоносное ПО, троянские кони, бот-сети, фишинг и т. п.

Благодаря труду специалистов кибербезопасности большинство атак злоумышленников не несут серьезной угрозы, однако с совершенствованием защиты преступники улучшают свое оружие, таким образом, все это перерастает в бесконечную войну.

Сведения об угрозах в Интернете

Диаграммы, приведенные ниже (рис. 1, 2), построены на основе данных о заблокированных продуктах «Лаборатории Касперского» эксплоитах, используемых злоумышленниками в атаках через Интернет и при взломе локальных приложений, в том числе на мобильных устройствах пользователей.

В третьем квартале 2021 года (как и во втором) первенство в списке поражающего вредоносного кода, занимают эксплоиты для уязвимостей пакета Microsoft Office. Известность этих эксплоитов обусловлена огромной пользовательской базой, существенная часть которой использует старые версии ПО, в связи с чем процесс взламывания сильно упрощается [4]. По сравнению с предыдущим кварталом доля эксплоитов к Microsoft Office увеличилась чуть менее чем на 5 % [5]. Это связано с тем, что недавно обнаруженная уязвимость привлекла к себе многих злоумышленников, которые охотно воспользовались ей. В процессе ее эксплуатации злоумышленник может использовать стандартные возможности для загрузки шаблонов из офисного документа, которые реализуются с помощью специальных компонентов ActiveX.

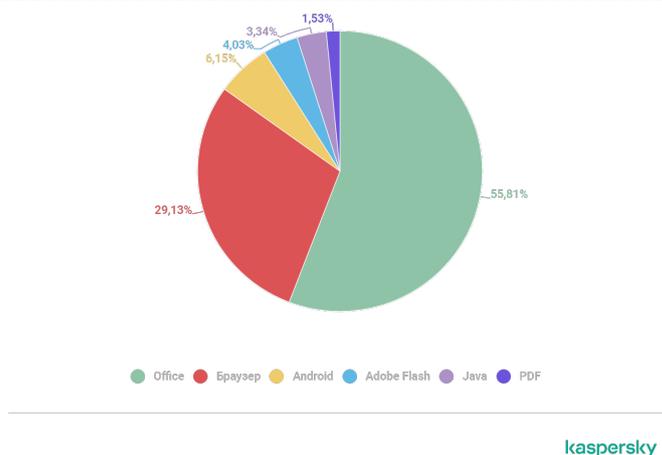


Рис. 1. Распределение эксплоитов, использованных злоумышленниками, по типам атакуемых приложений, второй квартал 2021 года [2]

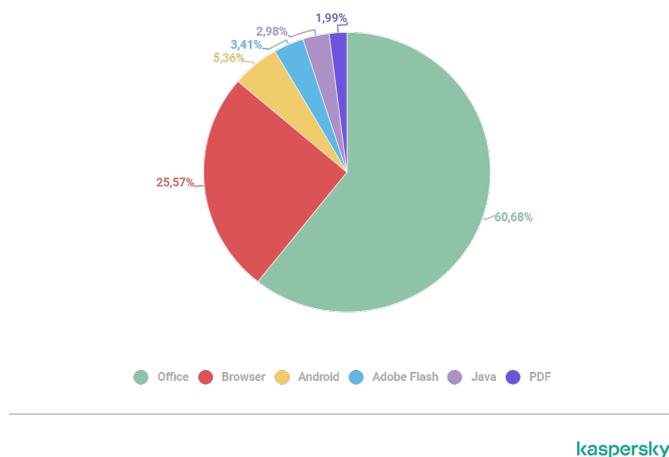


Рис. 2. Распределение эксплоитов, использованных злоумышленниками, по типам атакуемых приложений, третий квартал 2021 года [3]

В старых версиях продуктов Microsoft Office проверка выполняется не столь тщательно, как это бы требовалось сейчас, поэтому преступник способен загрузить любой вредоносный код.

«Лаборатория Касперского»

Одной из крупнейших компаний по производству продуктов для обеспечения безопасности в сети, о которой было сказано раньше, является «Лаборатория Касперского». Это международная группа компаний с центральным офисом в Москве. Обладает партнерской сетью, объединяющей более 500 компаний более чем в 60 странах мира.

Данная компания разрабатывает решения для защиты домашних пользователей и корпоративных сетей любого масштаба. Продуктовая линейка компании включает в себя решения для всех популярных операционных систем, таких как Windows, Linux и MacOS.

Помимо продуктов, разработанных для защиты отдельных узлов сети, «Лаборатория Касперского» предлагает комплексные решения, например, Kaspersky Open Space Security. Линейка Open Space включает в себя четыре продукта, каждый из которых предназначен для защиты сетевых узлов в определенной комбинации [6].

Обзор продукта «Лаборатории Касперского»

Пользуясь антивирусом Касперского, который позволяет защитить персональный компьютер, можно выделить основные положительные качества данного продукта.

- Мониторинг и обновление ПО. Благодаря обновлению 2017 года антивирус Касперского научился находить старые версии любого ПО и в добровольной форме по мере надобности обновлять его самостоятельно.

- Функция «Безопасное соединение». Благодаря этой функции владельцы антивируса Касперского могут не переживать о своих данных, будучи подключенными к общественному Wi-Fi. Программа создает безопасное соединение без возможности перехвата данных злоумышленниками.

- «Анти-Баннер» позволяет пользователю избавиться от рекламы на сайтах.

- Система Watcher создана «Лабораторией Касперского» для поиска последствий воздействия вирусов на устройство и восстановления его путем возвращения системы к исходному состоянию.

- Обновленный дизайн, благодаря которому пользователи смогут интуитивно понять работу ПО, а также насладиться его использованием, так как лаконичный подход к дизайну сделал его красивым и простым.

Но не все так прекрасно, как хотелось бы. Антивирус Касперского также имеет и минусы, среди которых:

- невысокая скорость сканирования (в связи с тем, что в антивирусе Касперского применяются уникальные технологии обнаружения вирусов и вредоносного кода, скорость работы приложения дольше обычных антивирусов так как на реализацию пакета алгоритмов требуется время);

- высокая стоимость лицензии Kaspersky Anti-Virus 2017 обойдется дороже конкурентных решений. Обосновывается она уникальностью алгоритмов поиска вредоносного кода [7].

Заключение

Как видим, ПО «Лаборатории Касперского» способно предотвратить большинство атак со стороны злоумышленников. Постоянное совершенствование алгоритмов улучшают антивирус с каждым днем, что ведет его к победе в войне с преступниками.

Библиографический список

1. Лаборатория Касперского. URL: <https://www.kaspersky.ru/> (дата обращения: 26.03.2022).
2. SECURELIST by Kaspersky. URL: <https://securelist.ru/it-threat-evolution-q2-2020/97887/> (дата обращения: 26.03.2022).
3. SECURELIST by Kaspersky. URL: <https://securelist.ru/it-threat-evolution-in-q3-2021-pc-statistics/103974/> (дата обращения: 26.03.2022).
4. Kaspersky Security Bulletin 2020. Статистика. URL: https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/KSB_statistics_2020_en.pdf (дата обращения: 26.03.2022).
5. Kaspersky Security Bulletin 2021. Статистика. URL: https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/KSB_statistics_2021_rus.pdf (дата обращения: 26.03.2022).
6. Лаборатория Касперского (реферат). URL: <https://wreferat.baza-referat.ru/%D0%9B%D0%B0%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%D0%9A%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE> (дата обращения: 26.03.2022).
7. Антивирус Касперского 2017 – плюсы и минусы. URL: <https://2hpc.ru/kaspersky-antivirus-kav/> (дата обращения: 26.03.2022).

УДК 62-551.454

И. В. Городецкий

студент кафедры управления в технических системах

Д. В. Шишлаков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ГАЗОВОГО КОТЛА****Постановка задачи**

Основной задачей создания автоматической системы управления газового котла заключается в создании системы управления нагревательными элементами. Для начала будет создана математическая и дискретная модель для котла. Затем для его характеристик будет создан программный код для расчета передаточной функции методом «сеток» и дальнейшего просчета ПИД-регулятора нашей системы. При температуре вне помещения до $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ батарея должна иметь температуру не менее $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Система автоматического управления должна регулировать температуру на $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Создание математической и дискретной модели

Математическую модель будем разрабатывать с применением уравнений теплопроводности [1]. Ниже приведен фрагмент математической модели.

Уравнение 1 описывает тепловые процессы воды:

$$\frac{\partial T_1(x,r,\varphi,t)}{\partial t} = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1(x,r,\varphi,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_1(x,r,\varphi,t)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_1(x,r,\varphi,t)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_1(x,r,\varphi,t)}{\partial x^2} \right). \quad (1)$$

$$x_0 \leq x \leq L_1; r_0 \leq r \leq r_1; \varphi_0 \leq \varphi \leq 360.$$

Уравнение 2 описывает тепловые процессы внутри корпуса:

$$\frac{\partial T_2(x,r,\varphi,t)}{\partial t} = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2(x,r,\varphi,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_2(x,r,\varphi,t)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_2(x,r,\varphi,t)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_2(x,r,\varphi,t)}{\partial x^2} \right). \quad (2)$$

$$x_0 \leq x \leq L_2; r_1 \leq r \leq r_2; \varphi_0 \leq \varphi \leq 360$$

$$L_1 \leq x \leq L_2; r_0 \leq r \leq r_1; \varphi_0 \leq \varphi \leq 360.$$

Уравнение 3 описывает тепловые процессы во внешней обшивке:

$$\frac{\partial T_3(x,r,\varphi,t)}{\partial t} = \lambda_3 \left(\frac{\partial^2 T_3(x,r,\varphi,t)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T_3(x,r,\varphi,t)}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T_3(x,r,\varphi,t)}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 T_3(x,r,\varphi,t)}{\partial x^2} \right). \quad (3)$$

$$x_0 \leq x \leq L_3; r_2 \leq r \leq r_3; \varphi_0 \leq \varphi \leq 360$$

$$L_2 \leq x \leq L_3; r_0 \leq r \leq r_1; \varphi_0 \leq \varphi \leq 360.$$

Считаем аппарат теплоизолированным с боковых сторон.

Уравнение 4 описывает тепловые процессы с боковых сторон:

$$\lambda_3 \frac{\partial T_3(x,\varphi,r_3,t)}{\partial r} = 0. \quad (4)$$

Запишем остальные граничные условия.

Уравнения 5, 6, 7 описывают условия сопряжения, которое характеризуется равенством тепловых потоков в месте контакта двух поверхностей:

$$T_2(x,\varphi,r_2,t) = T_3(x,\varphi,r_2,t). \quad (5)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(x, \varphi, r_2, t)}{\partial r} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(x, \varphi, r_2, t)}{\partial r}. \quad (6)$$

$$\lambda_2 \frac{\partial T_2(L_2, \varphi, r, t)}{\partial x} = \lambda_3 \frac{\partial T_3(L_2, \varphi, r, t)}{\partial x}. \quad (7)$$

Уравнения 8 и 9 являются полной записью дифференциального уравнения для цилиндра в дискретной форме для воды (8) и для котла (9):

$$\partial T_1[x, r, \varphi] = \lambda_1 \partial t \left[\frac{\partial^2 T_1(x, r, \varphi)}{\partial r_1^2} + \frac{1}{r_1} \frac{\partial T_1(x, r, \varphi)}{\partial r_1} + \frac{1}{r_1^2} \frac{\partial^2 T_1(x, r, \varphi)}{\partial \varphi_1^2} + \frac{\partial^2 T_1(x, r, \varphi)}{\partial x_1^2} \right]. \quad (8)$$

$$\partial T_2[x, r, \varphi] = \lambda_2 \partial t \left[\frac{\partial^2 T_2(x, r, \varphi)}{\partial r_2^2} + \frac{1}{r_2} \frac{\partial T_2(x, r, \varphi)}{\partial r_2} + \frac{1}{r_2^2} \frac{\partial^2 T_2(x, r, \varphi)}{\partial \varphi_2^2} + \frac{\partial^2 T_2(x, r, \varphi)}{\partial x_2^2} \right]. \quad (9)$$

Передаточная функция

Характеристики котла: D=1880 мм (наружный диаметр), d=1800 мм (внутренний диаметр), H=2700 мм (высота).

Для решения математической модели был выбран метод «сеток». С применением данного метода была составлена дискретная модель. Решение полученной математической модели позволило построить графики переходного процесса в контрольных точках. Используя код языка программирования C# в среде Visualstudio, определим параметры переходного процесса.

Искомая передаточная функция объекта входного воздействия будет иметь вид:

$$W(s) = \frac{0.344}{6689s + 1} e^{-825p}.$$

Система автоматического управления

В нашем случае нам нужны хорошие динамические и статические свойства, поэтому для реализации управления был выбран ПИД-регулятор [2]. Для получения коэффициентов ПИД-регулятора используем метод Циглера – Никольса [3].

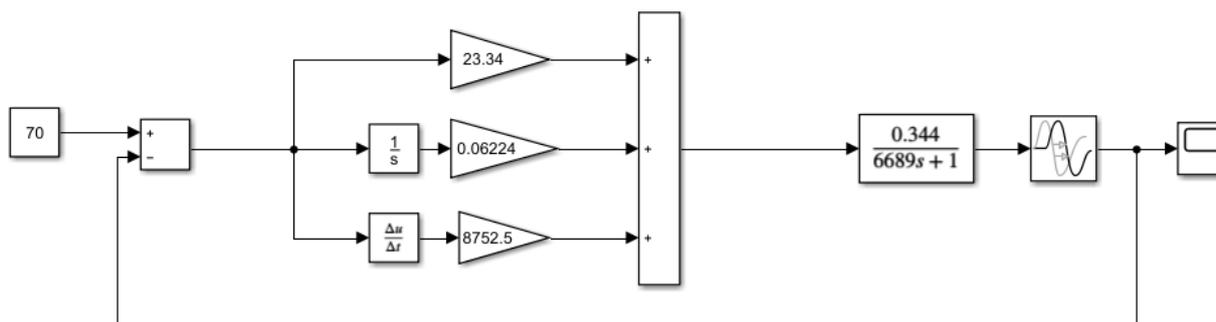


Рис. 1. Модель объекта управления с ПИД-регулятором, рассчитанный методом Циглера – Никольса в MatLab Simulink

Из рис. 2 видно, что метод Циглера – Никольса не может обеспечить нужных критериев качества регулирования. Нам требуется дополнительная настройка пропорционального, интегрирующего и дифференцирующего коэффициентов.

Воспользуемся встроенным блоком в MatLab Simulink (Pid Controller) для получения новых коэффициентов.

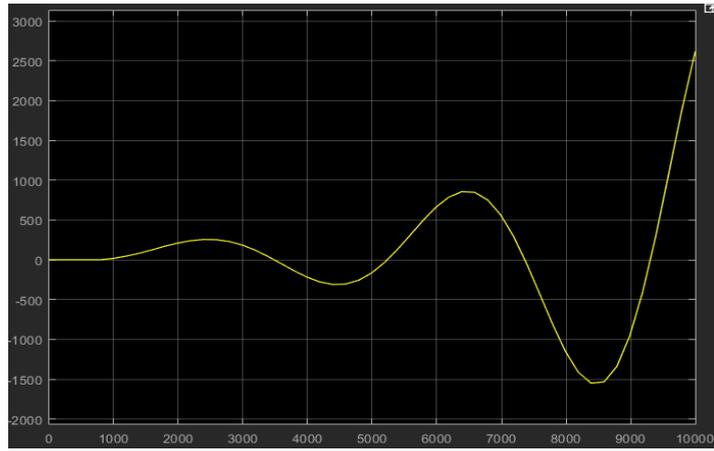


Рис. 2. Переходный процесс объекта с ПИД-регулятором, рассчитанный методом Циглера – Никольса

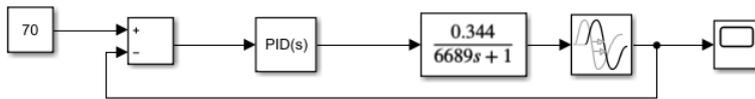


Рис. 3. Система управления с блоком PID Controller в MatLabSimulink

Построим модель с ПИД-регулятором в MatLab Simulink, используя новые коэффициенты.

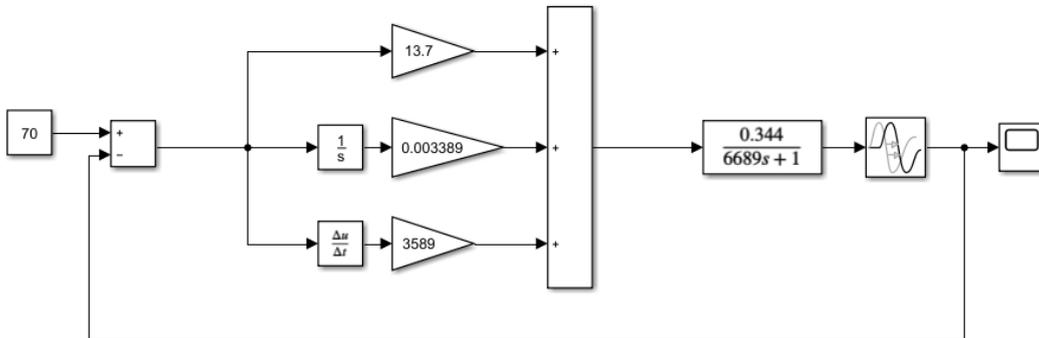


Рис. 4. Модель объекта управления с новыми коэффициентами ПИД-регулятора в MatLabSimulink

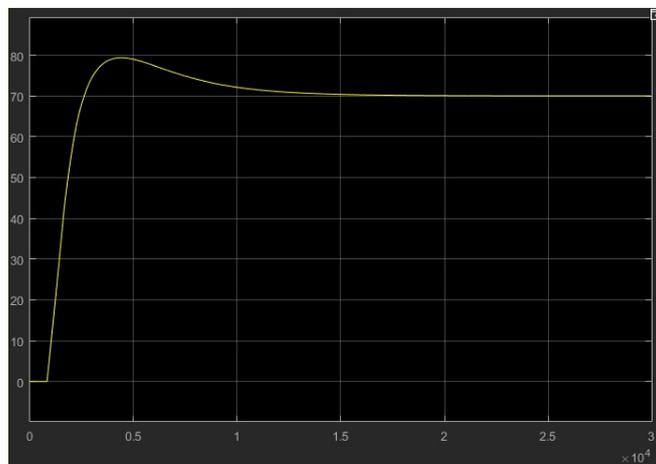


Рис. 5. Переходный процесс объекта с новыми коэффициентами ПИД-регулятора

Заключение

В данной работе были решены все поставленные задачи. Составлена математическая и дискретная модель, что позволило рассчитать передаточную функцию объекта входного воздействия. На основе полученной информации были произведены расчеты настроек ПИД-регулятора. Моделирование производилось с применением C# в среде Visualstudio, MATLAB Simulink.

Библиографический список

1. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967. 599 с.
2. *Дядик В. Ф., Байдали С. А., Криницын Н. С.* Теория автоматического управления: учеб. пособие / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2011. 179 с.
3. *Вадутов О. С.* Настройка типовых регуляторов по методу Циглера – Никольса / Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2014. 5 с.

УДК 681.5.013

Р. А. Дитяткин, А. К. Попов

студенты кафедры управления в технических системах

С. С. Тимофеев – старший преподаватель – научный руководитель

СЛЕДЯЩИЕ СИСТЕМЫ БОРТОВЫХ АНТЕНН РЛС

В 1940 году в НИИ ВВС был проведен детальный анализ возможности разработки средств радиобнаружения вражеских самолетов для установки их на истребители с целью ведения с помощью данных средств прицельного огня в условиях боя при недостаточной видимости. По данному вопросу во ВНИИРТ было проведено совещание с участием представителей ВВС, по итогам которого было решено, что помимо необходимости в создании авиационной радиолокационной станции (РЛС), существует также и возможность ее создания.

Одной из основных проблем, которые предстояло решить, был вопрос размещения аппаратуры на самолете. Масса оборудования, необходимого для работы РЛС, оценивалась примерно в 500 кг. Данное обстоятельство делало невозможной установку радиолокационной станции на истребители, поэтому летчик-испытатель НИИ ВВС С. П. Супрун выдвинул предложение, в соответствии с которым РЛС устанавливалась на трехместный самолет Пе-2. Кроме того, Супрун утверждал, что у летчика-истребителя не будет возможности одновременно пилотировать самолет, проводить поиск противника с помощью радиобнаружения и вести огонь по нему. Однако на многоместном самолете такая задача была выполнима. В результате вышеописанных причин было принято решение об установке бортовой РЛС на самолете Пе-2 [1].

В последующем развитие технологий позволило проводить установку бортовых РЛС (БРЛС) на истребители, а сами БРЛС приобретали все большую многофункциональность. Развитие многофункциональности определило основные цели БРЛС.

Бортовые радиолокационные станции в режиме «воздух-воздух» выполняют следующие цели [2]:

- измерение направления и скорости движения обнаруженных целей, а также дальности до них;
- предупреждение столкновения в воздухе;
- сканирование метеорологической обстановки на пути следования;
- обнаружение и распознавание большого количества воздушных целей, в том числе и групповых;

– сопровождение воздушных целей в автоматическом режиме.

В режиме «воздух-поверхность» БРЛС должна обеспечивать:

- проведение картографирования поверхности;
- распознавание различных типов наземных и морских целей;
- измерение направления и скорости движения обнаруженных наземных и морских целей, а также дальности до них;
- обнаружение и сопровождение как наземных, так и морских целей.

Для выполнения поставленных задач в БРЛС применяют следящие системы бортовых антенн РЛС.

Следящая система – это система автоматического управления, в которой закон изменения регулируемых величин является произвольной функцией времени, в том числе и случайной [3].

Следящие РЛС выполняют функцию точного и непрерывного определения координат одной или ряда целей [4].

Любая следящая система состоит из следующих элементов: устройства, задающего входной сигнал; сравнивающего устройства; исполнительного механизма; обратной связи. В некоторых системах между исполнительным механизмом и сравнивающим устройством применяют преобразователь сигнала и усилитель сигнала рассогласования [5].

Функциональная схема следящей системы представлена на рис. 1 [6].

Входной координатой следящего привода, определяющей требуемое значение выходной координаты, может быть напряжение, угол поворота и пр. Выходной же координатой следящего привода

является угол поворота выходного вала. Отклонение угла поворота выходного вала от требуемого определяется с помощью измерителей угла рассогласования [7]. В качестве измерителей угла рассогласования могут применяться потенциметрический измеритель рассогласования, вращающиеся трансформаторы, сельсины, тахогенераторы постоянного и переменного тока [8], [9].

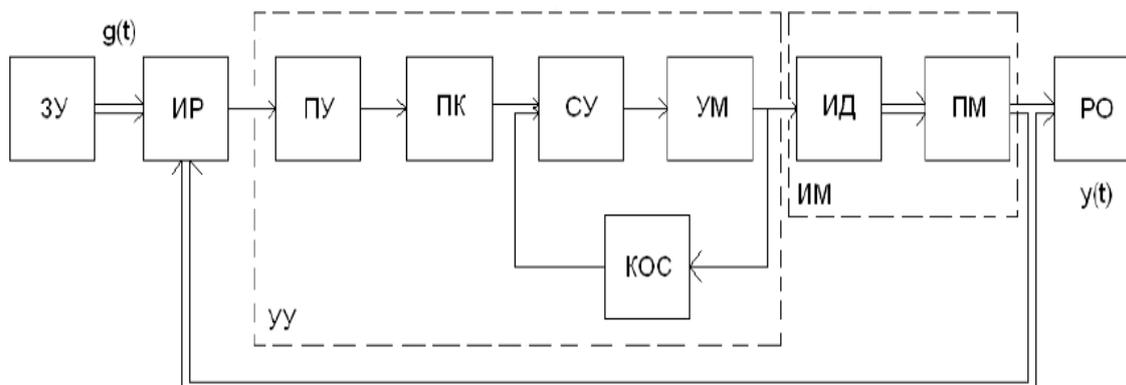


Рис. 1. Функциональная схема следящей системы: ЗУ – задающее устройство; ИР – измеритель рассогласования; УУ – устройство управления; ИМ – исполнительный механизм; РО – рабочий орган; ПУ – предварительный усилитель; ПК – последовательное корректирующее звено; СУ – суммирующее устройство; КОС – корректирующее устройство в цепи местной обратной связи; УМ – усилитель мощности; ИД – исполнительный двигатель; ПМ – передаточный механизм (редуктор)

В качестве исполнительного двигателя в следящем приводе могут использоваться двигатели как постоянного, так и переменного тока.

В предварительном усилителе сигнал усиливается по напряжению и мощности до уровня, необходимого для нормального функционирования усилителя мощности.

Последовательное корректирующее звено и корректирующее устройство в цепи местной обратной связи позволяют обеспечить необходимое качество управления.

В суммирующем устройстве производится сложение сигналов последовательного корректирующего звена и корректирующего устройства в цепи местной обратной связи.

Усилитель мощности управляет потоком энергии, поступающим от источника энергии. В электрических следящих приводах находят применение электромашинные (ограниченно) и различного типа полупроводниковые усилители мощности.

Ввиду хороших регулировочных характеристик в следящих приводах широко используются двигатели постоянного тока (ДПТ). По типу возбуждения ДПТ разделяют на двигатели с электромагнитным возбуждением, реализуемым с помощью обмотки возбуждения, и с магнитоэлектрическим, реализуемым на постоянном магните.

ДПТ с электромагнитным возбуждением по способу подключения обмотки возбуждения (ОВ) по отношению к обмотке якоря (ОЯ) подразделяются на двигатели независимого (рис. 2, а), параллельного (рис. 2, б), последовательного (рис. 2, в) и смешанного (рис. 2, г) возбуждения. В качестве исполнительных двигателей постоянного тока в следящих электроприводах чаще всего используют двигатели независимого и магнитоэлектрического возбуждения. Реже применяют двигатели последовательного возбуждения [7].

В качестве привода переменного тока в следящих системах бортовых антенн РЛС в большинстве случаев используют асинхронные двухфазные двигатели (АДД). Достоинством АДД переменного тока является простота конструкции и, как следствие, долговечность. По конструкции роторы АДД выполняют в виде полого немагнитного стакана из сплавов алюминия, либо в виде беличьего колеса (короткозамкнутый ротор).

Основными недостатками АДД с полым ротором являются:

– большой воздушный зазор между внешним и внутренним статором (0,5...1,5 мм) и, следовательно, большой ток намагничивания;

– невысокая механическая прочность ротора. При больших нагрузках и вибрациях тонкостенный стакан деформируется и может заклинить.

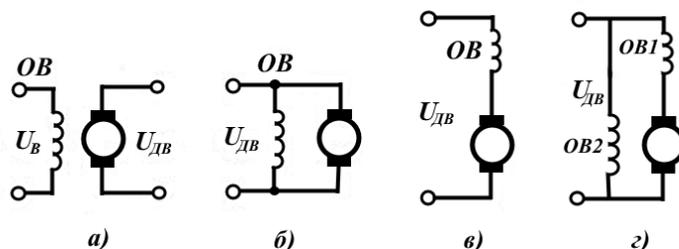


Рис. 2. Схемы соединения обмоток возбуждения и якоря исполнительного двигателя:
 а) – независимое возбуждение; б) – параллельное возбуждение;
 в) – последовательное возбуждение; г) – смешанное возбуждение

АДД с короткозамкнутым ротором имеют значительно меньший воздушный зазор (до 0,15 мм) и, как следствие, меньший намагничивающий ток. Данное обстоятельство позволяет уменьшить габаритные размеры такого двигателя по сравнению с двигателем с полым ротором сопоставимой мощности. Один из основных недостатков АДД с короткозамкнутым ротором – сравнительно больший момент инерции ротора [7].

На данный момент существует достаточно большое количество разновидностей следящих систем. По мере развития повышаются их точность и быстродействие. Благодаря развитию технологий современные следящие системы являются легкими и износостойкими благодаря использованию передовых материалов. Применение новейшей электроники позволяет обеспечить наивысшее качество процесса управления. Однако, не смотря на усовершенствование отдельных компонентов, подобные следящие системы до сих пор проектируются на принципах, описанных в данной статье.

Библиографический список

1. Хохлов С. В. История отечественной радиолокации. Изд. 2-е испр., доп. М.: Столичная энциклопедия, 2015. 736 с.
2. Нечаев Е. Е. Современные бортовые радиолокационные станции и антенные решетки многофункциональных авиационных комплексов военного назначения // Научный вестник МГТУ ГА. 2015. № 221. С. 90–105.
3. Попков С. Л. Следящие системы. М.: Высшая школа, 1963. 304 с.
4. Бакулев П. А. Радиолокационные системы: учебник для вузов. М.: Радиотехника. 2004, 320 с.
5. Трифонова Г. О., Трифонова О. И. Следящие системы приводов: учеб. пособие. М., 2013. 142 с.
6. Акопов В. С., Бураков М. В., Полякова Т. Г. Проектирование авиационного электропривода малой мощности: учеб. пособие. СПб., 2007. 115 с.
7. Полковников В. А., Петров Б. И., Рывкин С. Е. Электропривод летательных аппаратов: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. М.: МАИ-ПРИНТ, 2009. 303 с.
8. Земляков Н. Д., Сусленникова Е. Ю. Первичные измерительные преобразователи следящего электропривода. Потенциометры и тахогенераторы: метод. указ. к курсовому и дипломному проектированию. Л., 1992. 32 с.
9. Земляков Н. Д., Сусленникова Е. Ю. Первичные измерительные преобразователи следящего электропривода. Вращающиеся трансформаторы, сельсины, индукционные датчики угла: метод. указ. к курсовому и дипломному проектированию. Л., 1992. 44 с.

А. М. Долгобородова

студентка кафедры технологий защиты информации

Т. Н. Елина – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ПОДБОРА СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ НА РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сегодня вопросы обеспечения информационной безопасности (ИБ) являются очень важными, поскольку внедряемые повсеместно технологии без обеспечения информационной безопасности становятся источниками серьезных проблем.

На рынке защиты информации предлагается множество отдельных инженерно-технических, программно-аппаратных, криптографических средств защиты информации (СЗИ). Однако для того, чтобы создать на предприятии условия эффективной защиты информации, необходимо объединить отдельные СЗИ в комплекс.

Средства защиты информации предназначены для минимизации рисков ИБ. Разработка модели угроз и модели нарушителя является необходимым этапом при построении эффективной системы защиты информации. Модель угроз безопасности информации разрабатывается в соответствии с Методикой оценки угроз безопасности информации, утвержденной ФСТЭК России 5 февраля 2021 года [1], и включает описание возможностей нарушителей.

Таким образом, делаем вывод, что решение вопросов информационной безопасности предприятия является очень острой проблемой, решить которую можно только комплексным подходом, а именно:

- анализом текущего состояния СЗИ на предприятии;
- проведением анализа потенциальных угроз;
- составлением обновленной СЗИ с учетом новых требований безопасности информации.

Необходим комплексный подход к решению вопроса формирования СЗИ на предприятии с учетом уровня защищенности, требований и финансовых возможностей предприятия.

Помимо комплексного подхода формированию комплекса СЗИ, необходима автоматизация данного процесса. На сегодняшний день он выполняется человеком, что несет за собой большие временные и людские ресурсы. Автоматизация процесса подбора комплекса СЗИ сократит его время, обеспечит возможность формирования альтернатив и облегчит работу специалистам ИБ.

Для проведения анализа были выбраны 5 предприятий, предлагающих услуги по информационной безопасности. Рассмотрим каждое из них.

1. ООО «Анлим-ИТ»

Компания Анлим-ИТ [2] является специализированным интегратором решений по информационной безопасности. Цель Анлим-ИТ – предоставить потребителям наиболее полезную и интересную информационную безопасность.

На этапе проектирования систем защиты информации определяется состав средств защиты информации, их взаимодействие, настройки, требуемая к разработке документация, схемы расположения и спецификации.

Ценным является подбор комплекса таких средств защиты информации, которые в соотношении цена-качество будут максимально эффективны.

2. Газинформсервис

«Газинформсервис» – отечественный разработчик программного обеспечения и оборудования для защиты информационной безопасности и комплексной инженерно-технической охраны [3].

При создании комплексной системы защиты информации могут дополнительно проводиться:

- защита персональных данных;
- защита автоматизированных систем управления технологическими процессами;
- консалтинговые услуги в области ИБ;

- защита ИТ-инфраструктуры для безопасного доступа в Интернет;
- аттестация информационно-управляющих систем;
- сертификация СЗИ;
- техническое сопровождение КСЗИ, расширяющее стандартные гарантийные обязательства.

3. CSIT

Система обеспечения информационной безопасности на предприятии работает на двух уровнях: внутреннем и внешнем [4]. При правильной организации она обеспечивает комплексную защиту от всех типов угроз.

Внутренний уровень защиты

Его основная задача – нейтрализовать угрозы, исходящие со стороны инсайдеров, которые получили доступ к системе. В качестве примеров можно привести мошенничество, кражу, повреждение или уничтожение документов, промышленный шпионаж, умышленные и неумышленные противоправные действия сотрудников (изменение документов из-за низкой квалификации и проч.), а также крупные системные сбои.

Защита от внешних угроз информационной безопасности

Внедрение данного комплекса позволяет справляться с такими угрозами, как:

- Интернет-атаки, целями которых являются искажение, уничтожение или кража данных, выведение из строя различных систем;
- распространение вредоносного ПО. К нему относятся любые вирусы, трояны, шпионские программы, шифровальщики данных;
- нежелательные рассылки, спам.

4. RTMGROUP

Услуги в сфере ИБ [5]:

- **Защита** персональных данных. Мероприятия, направленные на выполнение требований законодательства по обработке, хранению и передаче ПнД.
- Пентест. Проверка компьютерных систем на наличие уязвимостей, ошибок и атак. Составление рекомендательного списка для исправления.
- Приведение в соответствие и оценка по 683-П для банка и по 757-П для НФО.
- Подготовка к получению лицензии. Консультирование по разработке, распространению и обслуживанию систем шифрования защиты конфиденциальной информации.
- Анализ ИБ. Независимая **оценка соответствия** информационной безопасности российским и международным стандартам, а также требованиям законодательства.
- Защита информации от потери. Создание систем резервирования и восстановления данных.
- Экспертизы досудебной/судебной экспертизы по вопросам ИТ и информационной безопасности.
- Экспертиза документации в области ИБ. Выявление нарушений. Формирование рекомендаций по устранению.

5. Аспект СПб

Услуги по обеспечению информационной безопасности в следующих сферах [6]:

государственные информационные системы;
критическая информационная инфраструктура;
безопасность финансовых организаций и банков;
персональные данные;
электронная подпись и криптография;
защищенные сети передачи данных и доступ к сервисам;
управление информационной безопасностью.

Сравнительный анализ						
№	Критерии	Анлим	Газинформ сервис	CSIT	RTM Group	Аспект СПб
1	Полнота учета СЗИ	СЗИ от НСД, антивирусная защита, защита БД, системы управления событиями ИБ, системы предотвращения утечек информации, МЭ, резервное копирование и восстановление данных	Управление доступом, системы управления событиями ИБ, МЭ, организация удаленного доступа, СОВ, контроль и анализ защищенности, средства антивирусной защиты	Правовые, технические, криптографические, физические	Не указано	СЗИ от НСД, межсетевое экранирование, КСЗИ, антивирусная защита, резервное копирование и восстановление данных, защита виртуальной инфраструктуры, СОВ, защита технических каналов утечки информации
2	Актуализация комплекса СЗИ	Не указано	Не указано	Не указано	Не указано	+
3	Уровень автоматизации	-	-	-	-	-
4	Хранение подобранных комплексов СЗИ	Не указано	-	+	-	-
5	Сравнительный анализ подобранных СЗИ	-	-	-	-	-
6	Необходимый уровень квалификации сотрудников	-	+	+	-	+(проводят обучение)
7	Стоимость	Не указано	Не указано	Не указано	От 50 000 руб	Не указано

В табл. 1 представлен сравнительный анализ данных предприятий по следующим критериям:

- 1) полнота учета СЗИ;
- 2) актуализация комплекса СЗИ;
- 3) уровень автоматизации;
- 4) хранение подобранных комплексов СЗИ;
- 5) сравнительный анализ подобранных комплексов СЗИ;
- 6) необходимый уровень квалификации сотрудников;

7) стоимость.

Анализируя сравнительную таблицу, можно прийти к выводу, что российские предприятия никак не автоматизируют процесс формирования комплексов СЗИ. Также стоит отметить, что практически ни одна из проанализированных компаний не актуализирует уже готовые комплексы СЗИ и не предлагает альтернатив для сравнения эффективности.

Стоимость услуг также является достаточно высокой, что может сильно отразиться на защищаемом предприятии, ведь данная услуга – это не основная сфера деятельности предприятий-заказчиков.

На сегодняшний день создание информационной системы, автоматизирующей данный процесс, становится актуальным. Это поможет эффективнее анализировать риски и угрозы ИБ и позволит создать альтернативные варианты для защиты предприятия.

Библиографический список

1. Методический документ. Методика оценки угроз безопасности информации. Утвержден ФСТЭК России 5 февраля 2021 г. Москва, 2021.
2. Анлим-ИТ. URL: <https://unlim.group> (дата обращения: 24.02.2022).
3. Газинформсервис – информационная безопасность. URL: <https://www.gaz-is.ru> (дата обращения: 24.02.2022).
4. СиЭсИТ. URL: <https://csitltd.ru> (дата обращения: 24.02.2022).
5. RTMGroup. URL: <https://rtmtech.ru> (дата обращения: 24.02.2022).
6. Аспект СПб. URL: <https://www.aspectspb.ru> (дата обращения: 24.02.2022).

А. И. Дубинин, Р. А. Темников, А. В. Топилина

студенты кафедры технологий защиты информации

С. В. Беззатеев – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ДОКУМЕНТООБОРОТ НА ТЕХНОЛОГИИ ЧАСТНОГО БЛОКЧЕЙНА

Введение

В настоящее время все большую популярность приобретает электронный документооборот. Многие компании начинают переходить на безбумажный вид работы, так как он существенно экономит время и средства. И в связи с потребностью бизнеса появляются и развиваются системы электронного документооборота, нацеленные на удобство пользователя.

Типовой алгоритм взаимодействия пользователя в системе электронного документооборота:

1) пользователь регистрируется и входит в систему;
2) пользователь загружает электронную версию документа, подписывает ее с помощью своей электронной подписи и отправляет контрагенту, который также зарегистрирован в системе электронного документооборота;

3) контрагент подписывает получаемый электронный документ своей электронной подписью.

Одна из основных задач бизнеса – это заключение сделок. Распространенные на данный момент системы электронного документооборота в России позволяют только отслеживать взаимодействие с одним документом, но конечному пользователю было бы удобнее отслеживать сделку как совокупность множества этапов и прилагаемых к ним документов.

Смарт-контракт как эффективный элемент технологии блокчейн

Один из путей решения – это использование блокчейн-технологий в системах электронного документооборота, а именно – смарт-контрактов. Смарт-контракт автоматизирует выполнение сценария, заложенного в договор. Система электронного документооборота с использованием блокчейн-технологий будет автоматически исполнять смарт-контракты, исключая ошибки, сокращая время обработки документов, затраты и гарантируя оплату. Доверие в такой системе будет обеспечено за счет гибридности блокчейна – взаимосвязь частного и публичного блокчейна. Использование блокчейн-технологий избавит систему электронного документооборота от ряда недостатков, например, фальсификации и подмены документов.

Систему электронного документооборота с использованием смарт-контрактов будет удобно использовать в сфере логистики и управления цепочками поставок. Используя предлагаемую систему, компании могут взять под контроль цепочку поставок и отслеживать происхождение и перемещение продукта до конечного потребителя.

На зарубежном рынке представлена подобная система электронного документооборота – DocFlow от компании PixelPlex [1]. DocFlow – это платформа, которая предоставляет необходимые инструменты для оцифровки всего цикла делопроизводства и позволяет записывать информацию в блокчейн-сеть. В [2] выделяют несколько ключевых особенностей рассматриваемой системы:

1) система позволяет оцифровывать доверенности, использовать DocFlow в качестве системы нотариального заверения документов на технологии блокчейн;

2) документооборотом можно управлять с помощью нескольких подписей. В этом случае DocFlow становится платформой для руководителей, секретарей и акционеров компаний, где они могут пройти все этапы утверждения или отклонения решения в рамках одного веб-приложения.

Инфраструктура DocFlow состоит из веб-интерфейса для администраторов, базы данных на внутренней стороне и сети блокчейн, безопасного API-шлюза для доступа к данным, а также пользовательского интерфейса для хранения документов и доступа к ним.

На основе исследования отечественного и зарубежного рынка и потребностей бизнеса мы предлагаем создание системы электронного документооборота с поддержкой смарт-контрактов, подобную системе DocFlow. Далее будут перечислены основные отличия предлагаемой системы от существующих.

Во-первых, наша система будет опираться на законодательство Российской Федерации. Например, для реализации задачи хранения электронных документов необходимо придерживаться правил, описанных в Приказе Министерства культуры РФ от 31 марта 2015 года № 526 «Об утверждении Правил комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации и других архивных документов в органах государственной власти, органах местного самоуправления и организациях» [3]. Министерство финансов России документом № ПЗ-13/2015 сообщил, что придерживаться этих правил при организации хранения электронных документов бухгалтерского учета (в том числе первичных учетных документов), которые подписаны электронной подписью, должны и представители бизнеса [4].

Во-вторых, мы предлагаем использовать алгоритм кольцевой подписи для подписания документов [5]. Это поможет упростить проверку подписи. Например, в компании есть несколько курьеров, которые могут передать товар заказчику. С точки зрения бизнеса нет никакой разницы, кто конкретно передаст, главное, чтобы произошел процесс передачи и был подписан акт приема-передачи. Поэтому объединим всех курьеров в кольцо и для смарт-контракта зададим условие, что акт приема-передачи должен быть подписан одним из участников кольца. Для реализации кольцевой подписи необходимо будет знать закрытый ключ того курьера, который подписывает, и открытые ключи остальных курьеров.

Заключение

Исходя из описанного выше можно сделать вывод, что системам электронного документооборота в России не хватает готовых решений отслеживания сделок на технологии блокчейн. Очевидно, актуальным и востребованным является создание подобной системы в рамках российского законодательства и потребностей бизнеса. Предлагаемое решение использует преимущества и особенности блокчейна и смарт-контрактов. Рассмотренный выше вариант системы является полностью децентрализованным, безопасным и устойчивым.

Библиографический список

1. DocFlow: Intuitive Blockchain-Powered Document Management System. URL: <https://pixelplex.io/doc-flow> (дата обращения: 12.03.2022).
2. DocFlow by PixelPlex – Blockchain-Powered Solution for Secure Document Management. URL: <https://thebitcoinnews.com/docflow-by-pixelplex-blockchain-powered-solution-for-secure-document-management> (дата обращения: 13.03.2022).
3. Приказ Министерства культуры РФ от 31 марта 2015 г. № 526 «Об утверждении правил организации хранения, комплектования, учета и использования документов Архивного фонда Российской Федерации и других архивных документов в органах государственной власти, органах местного самоуправления и организациях». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71083090> (дата обращения: 13.03.2022).
4. Информация Минфина России N ПЗ-13/2015 «О применении установленных Минкультуры России правил комплектования, учета и организации хранения электронных архивных документов в отношении первичных и отчетных документов налогоплательщиков». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_185902 (дата обращения: 11.03.2022).
5. *Чикишев Г. О.* Одноразовая кольцевая подпись и ее применение в электронной наличности // Прикладная дискретная математика. Приложение. 2012. № 5. С. 56–58.

УДК 621.313.333

С. А. Евмененко, Д. В. Кушеков, Д. А. Новикова

студенты кафедры электромеханики и робототехники

В. Е. Белай – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**О МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ****Устройство фазного ротора**

Асинхронный электродвигатель с фазным ротором (ФАД) – мотор, который возможно регулировать при помощи добавления в цепь ротора дополнительных сопротивлений.

Статор – неподвижная часть, представляет собой полый цилиндр, собранный из листов электротехнической стали, в который уложена трехфазная обмотка.

Ротор – по конструкции схож со статором. Его основа состоит из пластин электротехнической стали, которые насаживают на вал. Обмотка укладывается в продольные пазы. Количество фаз ротора и статора равны. Концы обмотки соединяют с тремя контактными кольцами, которые насажены на вал двигателя. При помощи щеток обмотку ротора соединяют с пусковым реостатом. Такая конструкция способствует увеличению пускового момента и снижению тока [5].

Реостат, который выполняет роль добавочного сопротивления, включается для запуска двигателя под нагрузкой. При достижении номинального режима реостат отключают. После этого щетки замыкаются накоротко.

На рис.1 изображен двигатель в разобранном виде.

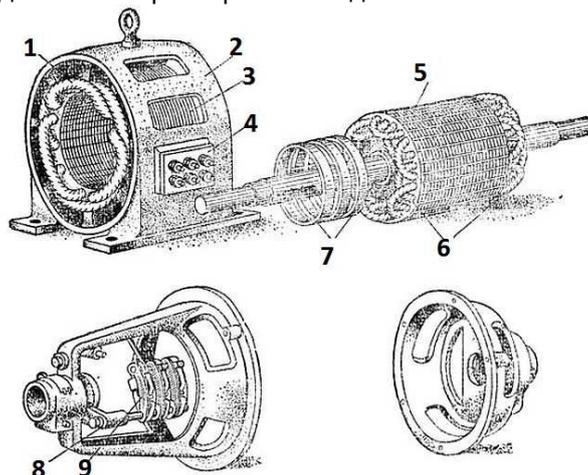


Рис. 1. ФАД в разобранном виде, основные узлы и части: 1 – статор; 2 – корпус; 3 – железо статора; 4 – клеммный щиток; 5 – ротор; 6 – обмотка ротора; 7 – контактные кольца; 8 – щеточная траверса; 9 – щеткодержатели

У производителя электромоторов «WEG» в некоторых моделях фазных двигателей сделана специальная система подъема щеток при достижении номинального момента. Это позволяет сэкономить на обслуживании электродвигателя.

Мотор такого типа обладает хорошими пусковыми и регулировочными характеристиками. Но из-за сложной конструкции его цена намного больше цены асинхронного с короткозамкнутым ротором (АКЗ). Также ФАД больше по габаритам, массе и менее надежен.

Преимущества и недостатки

Главное преимущество фазного двигателя – высокий момент при запуске. Сохраняется скорость вращения даже при тяжелых нагрузках, хорошо переносят длительные перегрузки. Для запуска требуется меньший пусковой ток [7].

Как и у любой электрической машины, у ФАД есть несколько недостатков:

- чувствительность к перепадам напряжения;

- большие габаритные размеры;
- высокая стоимость;
- более сложная конструкция за счет цепи ротора с добавочным сопротивлением;
- меньшие показатели коэффициента мощности и КПД (относительно АКЗ).

Область применения

Асинхронный двигатель с фазным ротором из-за высокого крутящего момента и способности работать при повышенных нагрузках применяются в механических установках, где требуется большая мощность и не нужно плавно регулировать скорость вращения.

Чаще всего в качестве привода устанавливаются на тяжелом силовом оборудовании [6]. Например, грузоподъемные механизмы, станы, подъемники, газотурбинные установки, компрессоры, мельницы, вращающиеся печи и т.д.

На рис. 2 фотография с предприятия, где установлен ФАД на газотурбинной установке.



Рис. 2. Асинхронный двигатель с фазным ротором, установленный на ГТТ-ЗМ

Модернизация

Любая электрическая машина со времени утрачивает свои технические характеристики и приходит в негодность. Происходит механическое старение металла, физически и морально устаревшие механизмы изнашиваются. Любая неисправность в работе приводит к остановке производства и несет финансовые потери предприятию. Из-за особенности конструкции двигателя с фазным ротором часто изнашиваются и требуют ремонта или замены.

Данную проблему можно решить несколькими способами.

1. Замена деталей.

Как правило, в первую очередь страдают щетки и кольца, обмотки статора и ротора, а также подшипниковые узлы. Обмотки статора и ротора ремонтпригодны путем замены токопровода. Восстановлением или заменой обмоток занимаются специализированные сервисные организации. Подшипниковые узлы также ремонтпригодны. Неисправность устраняется путем замены подшипников или всего механизма в целом. С заменой щеток и контактных колец могут возникнуть сложности. Чем старше мотор, тем сложнее найти замену неисправным механизмам, так как устаревшие двигатели могут быть сняты с производства, и, как правило, также прекращается производство запасных частей (ЗИП). Существуют компании, которые занимаются изготовлением деталей под заказ, но данные услуги очень дорогостоящие. Часто бывает, что ремонт старого двигателя выходит дороже, чем приобретение нового. Исходя из этого, можно сделать вывод, что ремонт отдельных частей машины не всегда возможен и может дорого стоить. Замена деталей решит проблему лишь временно.

2. Установить аналогичный электродвигатель.

Самое простое решение – установить новый электромотор, схожий по техническим характеристикам. Двигатель будет работать в период времени, установленный производителем, но далее снова понадобится ремонт: замена щеток, контактных колец и т. д. Эти элементы быстрее всего изнашиваются, и обслуживать новый ФАД придется часто. К новому оборудованию ЗИП будет найти проще, но несение издержек в части замены деталей не избежать. Делаем вывод: решение проблемы на более длительный срок, но с финансовыми потерями из-за постоянной доработки.

3. Заменить асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с управлением частотным преобразователем (ПЧ).

Это современное решение сейчас активно применяется на множестве предприятий [4]. Главное преимущество – простота в эксплуатации АКЗ, возможность регулирования скорости при помощи ПЧ, из-за простоты в конструкции (чем ФАД) надежнее, дешево в обслуживании. Этот способ подробнее рассмотрим отдельно.

Внедрение асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с частотным регулированием

Двигатель с фазным ротором из-за особенности своей конструкции достаточно дорогостоящее и сложное устройство для предприятия. Сейчас большинство энергетиков стараются избавиться от ФАД и заменить его на АКЗ с ПЧ.

На рис. 3 представлена фотография с предприятия, где была проведена модернизация электропривода с фазным ротором путем замены на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с частотным регулированием (на рис. 2 до модернизации).



Рис. 3. Реализованное техническое решение по замене привода

Рассмотрим отдельно режимы работы ФАД, АКЗ и АКЗ с ПЧ.

На рис.4 изображен график работы двигателя с фазным ротором.

При помощи изменения сопротивления увеличивается пусковой момент и уменьшается величина пускового тока двигателя. Запуск двигателя происходит ступенчато – от наибольшего значения (начального пускового) момента до момента переключений, а далее до номинального момента [1].

На рис. 5 изображен график работы двигателя с короткозамкнутым ротором.

Запуск двигателя происходит постепенно. Двигатель плавно разгоняется от пускового момента до критического, а далее переходит в рабочий режим. Переход режимов происходит очень быстро. При прямом пуске двигатель практически сразу выходит на номинальный режим [3].

На рис. 6 изображен график работы АКЗ при частотном регулировании.

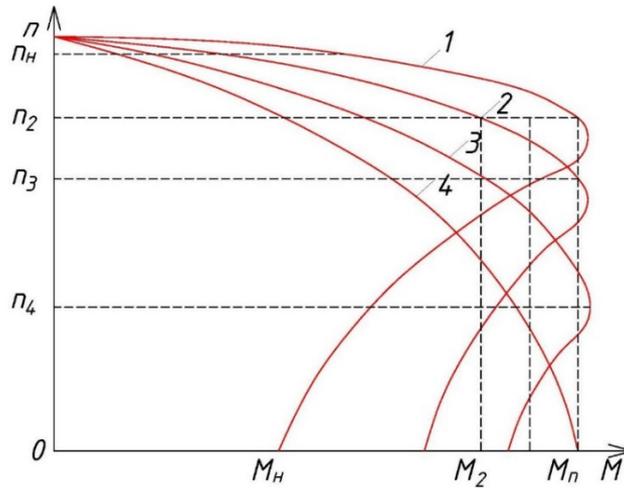


Рис. 4. Механические характеристики ФАД:
1-4 – ступени пускового реостата

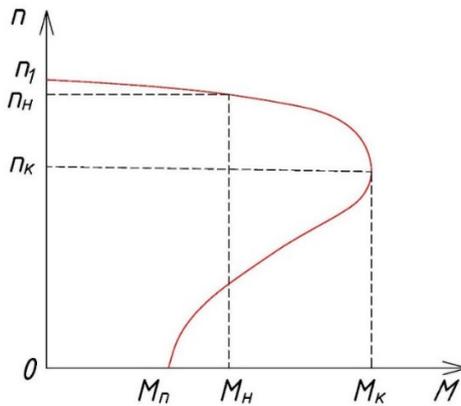


Рис. 5. Механические характеристики АКЗ

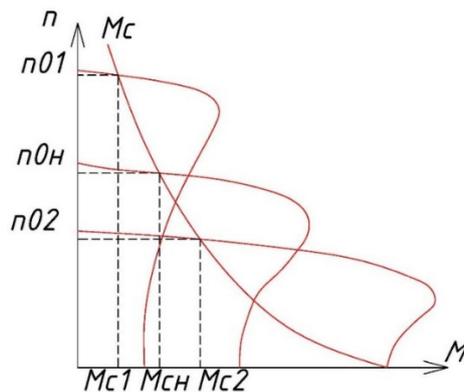


Рис. 6. Механические характеристики АКЗ с ПЧ

При изменении частоты тока f меняется синхронная частота вращения поля статора, а, следовательно, и ротора [2].

Инвертор частоты позволяет нам увеличить начальный пусковой момент, перегрузочную способность, обеспечить плавность регулирования большим диапазоном скоростей. Это возможно из-за особенности регулирования ПЧ. Существует два способа управления: скалярное и векторное. В данном случае будет применяться векторное – взаимодействие управляющего устройства с частотой поля двигателя. Такое управление формирует гармонические токи фаз и управляет магнитным потоком ротора, что повышает точность регулирования. Контроллер вычисляет напряжение, необходимое

для поддержания момента, обеспечивающего стабильную частоту. В отличие от скалярного режима, здесь происходит «умное» управление магнитным потоком ротора.

Преимущества решения

1. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет несложную конструкцию и прост в эксплуатации.
2. АКЗ меньше по габаритам и массе, чем ФАД.
3. Техническое обслуживание требуется реже и стоит дешевле. В отличие от фазного, у короткозамкнутого нет колец и щеток, которые со временем приходят в негодность из-за постоянного физического контакта.
4. Инвертором частоты просто управлять.
5. ПЧ редко выходит из строя.

Заключение

В данной статье мы рассмотрели варианты замены двигателя с фазным ротором. Пришли к выводу, что лучше всего заменить его на новую технологию – двигатель с короткозамкнутым ротором с частотным регулированием. Данное решение уже было успешно реализовано на таких предприятиях, как АО «Апатит», АО «Аммоний», НАК «Азот».

Библиографический список

1. *Кацман М. М.* Электрический привод: учебник. 2011. 384 с.
2. *Лотоцкий К. В.* Электрические машины и основы электропривода: учебники и учебные пособия для сельскохозяйственных техникумов. М., 1964. 495 с.
3. *Мартынов А. А.* Электрический привод: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 429 с.
4. Частотное регулирование асинхронного двигателя. URL: <https://www.szemo.ru/press-tsentr/article/chastotnoe-regulirovanie-asinkhronnogo-dvigatelya> (дата обращения: 11.03.2022).
5. Электродвигатели с фазным ротором. URL: <https://www.szemo.ru/press-tsentr/article/elektrodvigateli-s-faznym-rotorom> (дата обращения: 11.03.2022).
6. Автоматизация складов в агропромышленной отрасли. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46232288> (дата обращения: 11.03.2022).
7. Shanxi Electric Motor Manufacturing. YR-series (IP23) 3-phase asynchronous motors with a wound rotor (H160-400): каталог. 2020. 12 с.

УДК 536-1

В. А. Зюзин

ученик 10 класса ГБОУ лицея № 144

Д. К. Лебедев, П. А. Лукичев, А. А. Приходский, М. И. Ферштадт – студенты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители**ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МЕТОДЫ ОПРЕСНЕНИЯ МОРСКОЙ ВОДЫ**

Дистилляция – испарение жидкости с последующим охлаждением и конденсацией паров, в ходе которой образуются два продукта – рассол и дистиллят.

Основные методы опреснения морской воды

Обычная дистилляция – процесс опреснения воды, при котором вода нагревается до нужной температуры и затем конденсируется, в конечном итоге, дистиллированная вода попадает в отдельный резервуар для пресной воды. Данный метод опреснения широко известен, но в основном используется в лабораторных опытах (рис. 1) [1].

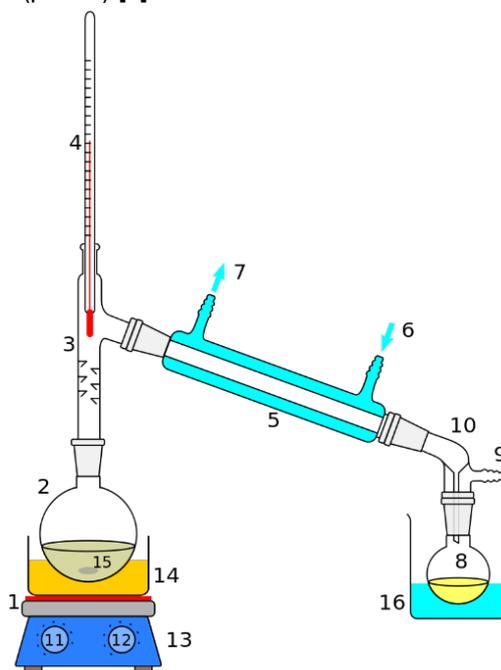


Рис. 1. Обычная дистилляция: 1 – нагревательный элемент; 2 – перегонный куб; 3 – насадка для сбора капель; 4 – градусник; 5 – холодильник; 6 – подвод охлаждающей жидкости; 7 – отвод охлаждающей жидкости; 8 – приемная колба; 9 – отвод газа; 10 – аллонж; 11 – регулятор температуры нагревателя; 12 – регулятор скорости перемешивания; 13 – магнитная мешалка; 14 – водяная баня; 15 – центры кипения; 16 – сосуд с охлаждающей жидкостью

Флэш-дистилляция – этот вид дистилляции совмещен с обычной и с дистилляцией пониженного давления. Сначала в установку для флэш-дистилляции вводят под высоким давлением морскую воду, постепенно в камерах он нагревается и часть пара, который нагревает рассол (морскую воду) конденсируется на витках теплообменника. Далее рассол проходит конечное нагревание паром и переходит в камеры с пониженным давлением, где он продолжает испаряться, двигаясь, пар доходит до вышеупомянутого теплообменника и конденсируется в специальную емкость для опресненной воды. Тот рассол, который не конденсировался или идет с новой партией морской воды, или уводится обратно в море. Этот метод дистилляции часто используют в промышленности (рис. 2).

Термокомпрессионная дистилляция – в термокомпрессионных опреснителях работу осуществляет сама морская вода. Рассол первоначально нагревается до кипения, пар отсасывается насосом и переходит в теплообменник, где конденсируется и передает энергию новым партиям испаряемого

рассола. Получается, что морская вода кипит при более низкой температуре, а пресная вода конденсируется при более высокой. Тепло конденсации поступает в испаритель и используется для перевода в пар новых партий рассола. Этот замкнутый цикл позволяет сократить значительные затраты энергии (рис. 3).

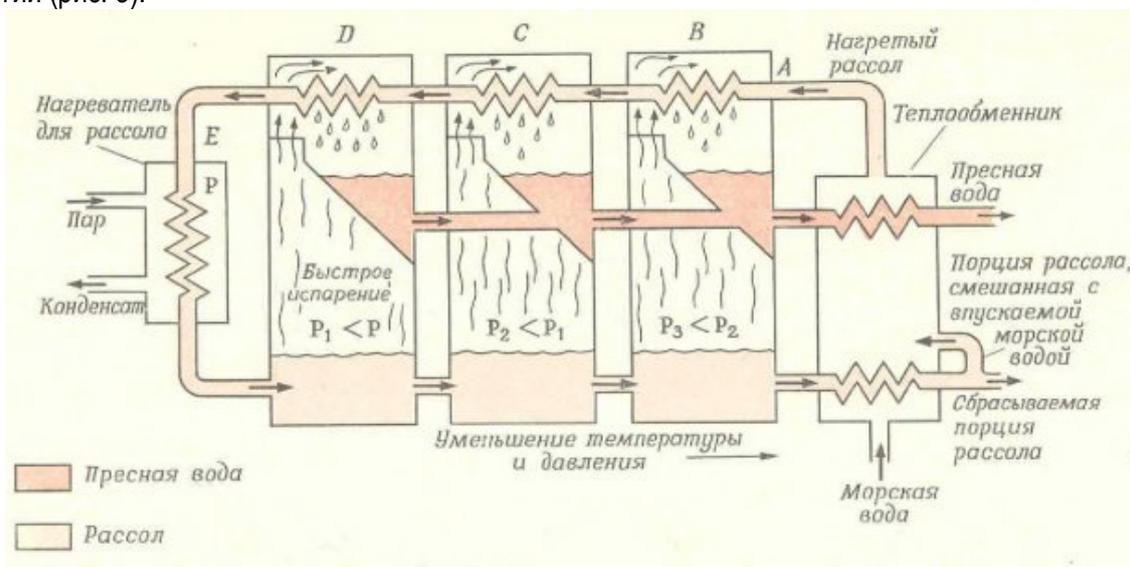


Рис. 2. Флэш-дистилляция

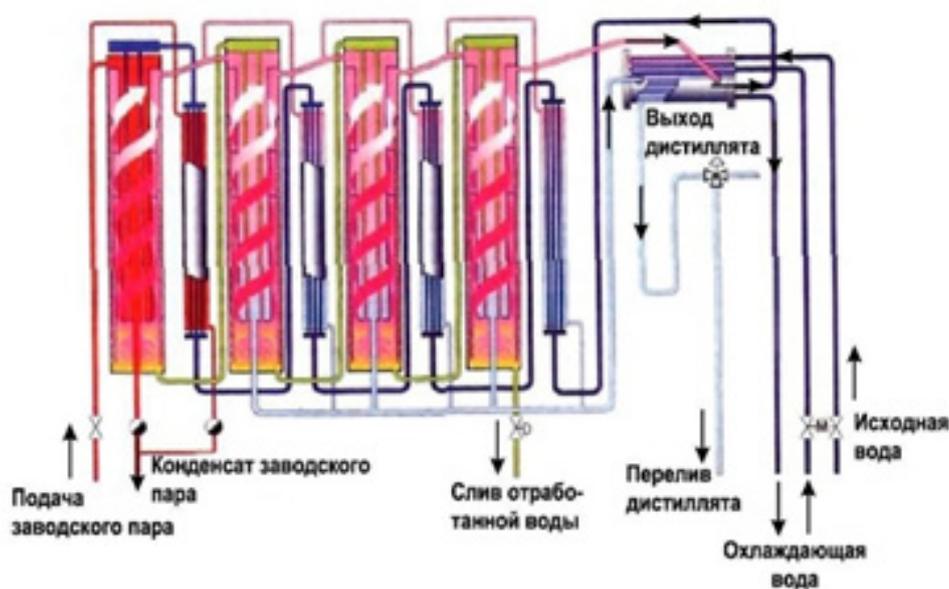


Рис. 3. Термокомпрессионная дистилляция

Вымораживание – один из эффективных методов получения пресной воды. В природе лед, покрывающий моря и океаны, – пресный, поэтому люди научились использовать метод медленного замораживания, при котором вода в толще льда остается в целом пресной, а соль с другими ненужными веществами уходит в осадок. Далее лед подвергается отделению от ненужного осадка и таянию для получения воды с соленостью не более 735 мг/л.

Ионный обмен – данный метод используется при опреснении воды с малой соленостью. При очистке раствор пропускается через фильтры с ионообменной смолой (такая смола часто встречается в почве, ее функция состоит в том, чтобы заменять частицы в почве или в растворе на свои). В итоге катионы натрия и анионы хлора замещаются катионами водорода и гидроксид-ионами.

Электродиализ – перемещение зараженных частиц к соответствующим электродам, используемое для дистилляции. Между электродами, где находится морская вода, со временем появляется область с пониженным количеством соли. Технически этот метод применен в опреснительных установках (электродиализаторах), в которых кроме анода и катода так же присутствуют камеры из заряженных мембран, что позволяет более эффективно вести процесс разделения.

Обратный осмос – самый распространенный метод опреснения воды. На опреснительных заводах его использование составляет примерно 65 %. Суть этого метода состоит в том, что по сосуду под высоким давлением идет рассол. Данная вода проходит через полупроницаемые мембраны, изготавливающиеся из синтетики, которые имеют маленькие отверстия, чтобы через них проходили только молекулы воды. Благодаря нескольким таким мембранам можно получить сосуд, выдающий пресную воду с малой концентрацией посторонних веществ [2].

Прямой осмос – это родоначальник обратного осмоса. Он имеет схожий принцип опреснения воды, кроме одного: в прямом осмосе используется осмотическое давление (природное давление, основанное на плотности морской воды) для опреснения воды через мембрану, а в обратном осмосе – искусственное давление, превышающее водное. К сожалению, из-за этого эта технология сейчас хоть и дешевая, но не эффективная, так как через нее пресная вода будет образовываться дольше, а сама она будет менее качественной [2].

Эффективность методов опреснения морской воды

Наименее эффективными в получении пресной воды в любых условиях будут обычная дистилляция и прямой осмос, так как данные методы дистилляции малопродуктивны и требуют много времени и материальных затрат. Указанные методы чаще всего используют в лабораториях для наглядного рассмотрения.

Более эффективны будут флэш-дистилляция и термокомпрессионная дистилляция. Данные методы относительно просты в опреснении воды и обслуживании установок, что делает их недорогими.

Вымораживание удобно использовать совместно с теми видами дистилляции, в которых используется нагревание воды. Наиболее эффективно вымораживание используется в регионах с холодным климатом, поскольку окружающая среда позволяет держать лед в постоянном твердом агрегатном состоянии и зачастую помогает при его образовании. Как говорилось ранее, ледники являются одними из источников питьевой воды, поэтому благодаря лишь пониженной температуре и некоторому количеству соленой воды можно дешево получить пресную воду. Такой способ будет эффективен как в экстремальной ситуации в условиях холода, так и в промышленности.

Электродиализ – один из недорогих современных способов дистилляции, сфера его применения обширна – от очистки сточных вод до парфюмерии. Его можно применять в любых условиях из-за малого размера установки, но основная проблема в том, что промышленной дистилляции при малом числе установок добиться не получится из-за частого засорения и использования множества добавок, которые порой являются дефицитом. Поэтому данный метод приобрел популярность в медицине и производстве микроэлектроники [3].

Метод ионного обмена редко применяется самостоятельно, в основном на конечной стадии опреснения воды. Но тем не менее его используют почти со всеми способами производства пресной воды, а также очистке сточных труб и решении проблемы жесткости воды.

Наконец обратный осмос как наиболее производительный метод опреснения воды используется чаще всего. Именно благодаря ему люди в прибрежных зонах могут получать воду в таких же количествах, как если бы ее брали из крупного водоема. Из минусов можно отметить дороговизну составляющих установки, особенно мембран, что не позволяет повсеместно использовать этот метод.

Развитие и востребованность дистилляции

Самые ранние случаи обработки воды происходили уже в далекой древности. Около двух тысяч лет назад морские путешественники придумали способ опреснения соленой воды: сначала ее подвергали кипячению, потом собирали губкой пары воды, а после высасывали из этой губки опресненную воду. Первым об опреснении воды методом нагрева и сбора пресных капель написал Аристотель. К тому же, в текстах великих ученых древности и средневековья подтверждались слова Аристотеля. Более современные виды дистилляции появились в трудах Леонардо да Винчи, который открыл

метод опреснения воды с помощью перегонного куба. Уже в XVI веке правительства разных стран стали искать лучшие методы дистилляции. За наиболее эффективный и экономичный метод дистилляции английская королева Елизавета предложила 10 000 фунтов стерлингов. В XIX веке были спроектированы и введены в производство вакуумные испарители, способные испарять воду, не доводя рассол до кипения.

В основном опреснение морской воды ведется в странах с благоприятной экономической ситуацией или в странах, испытывающих острый дефицит пресной воды для производства, орошения полей и потребления человеком. Широко выделяются по значительному объему опреснения и по количеству опреснительных установок страны Европы (Великобритания, Испания, Италия, Португалия, Германия, Кипр), страны Америки (США, Мексика, Бразилия), страны Азии (Китай, Пакистан, Сингапур, Япония). К тому же существуют страны, обеспечивающие водой более половины процентов населения своих стран: Саудовская Аравия, ОАЭ, Кувейт, Катар, Оман, Бахрейн и Израиль, опресняющий более 450 млн кубометров воды и обеспечивающий водой более 60 % страны (рис. 4).

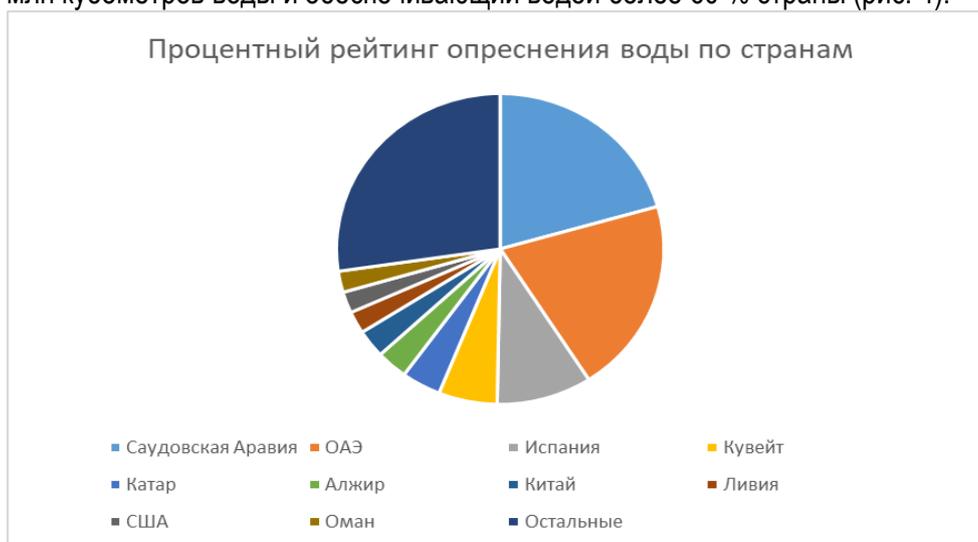


Рис. 4. Рейтинг опреснения воды

Дистилляция в РФ

Безусловно, опреснение морской воды является самым востребованным решением по улучшению состояния с водоснабжением, но появляется вопрос, зачем нужно опреснять воду в России? Пресной воды в нашей стране 90 тысяч км³, что является серьезной цифрой. Все это объясняется наличием большого числа полноводных рек, например, Енисея (годовой сток 624,7 км³), Лены (годовой сток 515,5 км³), Амура (годовой сток 403,9 км³) и др. Но несмотря на это, большинство людей в РФ проживают в центральных регионах, в то время как самые полноводные реки и крупные запасы подземной пресной воды располагаются в Азиатской части страны (см. диаграмму 2). Уже сейчас во многих регионах России граждане испытывают проблему с нехваткой чистой воды. Наблюдаются проблемы на Урале и в Калмыкии, основная проблема водоснабжения в этих регионах состоит в дефиците пресных водоемов, в то время как в Екатеринбурге, Челябинске, Тюмени, Кургане и Перми водные артерии серьезно загрязняются тяжелой промышленностью, из-за чего жители испытывают нехватку чистой воды. Также проблемы испытывают города российского Черноморского побережья: Геленджик, Анапа, Новороссийск и другие. Но наиболее остро эта проблема ощущается в Республике Крым. Из-за малого количества водоемов в 1970-х годах был построен Северо-Крымский канал, он работал исправно и полностью обеспечивал чистой водой население Крыма до мая 2014 года. После его закрытия жители, в особенности крупных городов, почувствовали острый дефицит воды. В первый год после закрытия канала в Севастополе подавали воду только по 3 часа утром и вечером, это мера помогала жителям справиться с базовыми потребностями, но очень часто вода оказывалась жесткой или имела цвет ржавчины, из-за чего значительная часть воды закупалась. На сегодняшний день ситуация стала лучше, но туристам и местным жителям периодически сообщают о перебоях с поставкой пресной воды, к тому же, такая аграрная отрасль, как выращивание винограда, арбузов и других

культур, потерпела серьезный ущерб из-за проблем с водоснабжением. До сих пор на полях Крыма можно наблюдать запущенными виноградники и бахчи. Учитывая вышеперечисленное, в РФ требуется постройка крупного числа очистных сооружений для рек, внедрение новых методов для добычи воды из подземных источников и постройка предприятий по опреснению морской воды.



Рис. 5. Распределение возобновляемых водных ресурсов в РФ

Формулы, описывающие процессы, происходящие при опреснении морской воды

Для обычной дистилляции, флэш-дистилляции, термокомпрессионной дистилляции, вымораживания используется закон о количестве теплоты с формулами:

$$Q = cm\Delta t \text{ (для нагревания или охлаждения вещества),}$$

$$Q = qm \text{ (для горения вещества),}$$

$$Q = \lambda m \text{ (для плавления или кристаллизации),}$$

$$Q = Lm \text{ (для испарения или конденсации).}$$

Также в флэш-дистилляции, прямом и обратном осмосе используются законы, связанные с давлением:

$$P = F/S \text{ (основной закон давления),}$$

$$p_1/p_2 = h_1/h_2 \text{ (для сообщающихся сосудов).}$$

Практическая часть

Для того чтобы показать работоспособность метода обычной дистилляции (из-за удобства его проведения в домашних условиях), был проведен эксперимент.

Оборудование: стальные кастрюли массой 1 кг и 0,34 кг, техническая вода (1 кг), фольга, кухонная варежка, газовая плита (расход газа 1,3 м³ в час).

Ход опыта:

1. Берем кастрюлю объемом 3 дм³.
2. Заливаем в кастрюлю 1 кг технической воды.
3. Ставим на воду кастрюлю объемом 0,5 дм³.
4. Обматываем края кастрюли фольгой, ставим перевернутую крышку и варежку для уменьшения потери тепла.
5. Ставим установку на плиту и включаем максимальный нагрев на плите.
6. Выключаем плиту через 1 час.
7. Измеряем количество воды в малой и большой кастрюле.
8. Определяем КПД.

Дано: M (тех. воды) = 1 кг, M (неиспарившейся воды) = 0,5 кг,

M (продукта) = 0,05 кг, M (большой кастрюли) = 1 кг

M (малой кастрюли) = 0,34 кг, V(газа)*t = 1,3 м³ * 1ч,

t (длительность опыта) = 1ч, C (воды) = 4200 Дж/(кг·°C),

ρ (стали) = 7800 кг/м³, C (стали) = 500 Дж/(кг·°С),
 L (воды) = 2,3 * 10⁶ Дж, t (начальная) = 20 °С, t (конечная) = 100 °С,
 q (газа) = 44*10⁶ Дж/кг, ρ (газа) = 0,85 кг/м³.

Найти: η -?

Решение: чтобы найти КПД воспользуемся формулой:

$$\eta = A(\text{полезное})/A(\text{затраченное}) * 100 \%$$

$A(\text{полезное}) = Q(\text{большой кастрюли}) + Q(\text{малой кастрюли}) + Q(\text{нагрева воды}) + Q(\text{испарения воды})$.

$$A(\text{затраченное}) = Q(\text{газа})$$

$$\Delta t = t(\text{конечная}) - t(\text{начальная}) = 80 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q(\text{большой кастрюли}) = M(\text{большой кастрюли}) * C(\text{стали}) * \Delta t$$

$$Q(\text{малой кастрюли}) = M(\text{малой кастрюли}) * C(\text{стали}) * \Delta t$$

$$Q(\text{нагрева воды}) = C(\text{воды}) * M(\text{тех. воды}) * \Delta t$$

$$M(\text{испарившейся воды}) = M(\text{неиспарившейся воды}) - M(\text{продукта}) = 0,45 \text{ кг}$$

$$Q(\text{испарения воды}) = L(\text{воды}) * M(\text{испарившейся воды})$$

$$Q(\text{газа}) = M(\text{газа}) * q(\text{газа})$$

$$M(\text{газа}) = V(\text{газа}) * \rho(\text{газа})$$

$$V(\text{газа}) = (V(\text{газа}) * t) / t(\text{длительность опыта}) = V(\text{газа}) * 1\text{ч} / 1\text{ч} = V(\text{газа})$$

$$Q(\text{газа}) = V(\text{газа}) * \rho(\text{газа}) * q(\text{газа})$$

$$\eta = (Q(\text{большой кастрюли}) + Q(\text{малой кастрюли}) + Q(\text{нагрева воды}) + Q(\text{испарения воды})) / Q(\text{газа}) * 100 \%$$

$$\eta = ((M(\text{большой кастрюли}) * C(\text{стали}) * \Delta t) + (M(\text{малой кастрюли}) * C(\text{стали}) * \Delta t) + (C(\text{воды}) * M(\text{тех. воды}) * \Delta t) + (L(\text{воды}) * M(\text{испарившейся воды}))) / (V(\text{газа}) * \rho(\text{газа}) * q(\text{газа})) * 100 \%$$

$$\eta = (53200 \text{ Дж} + 336000 \text{ Дж} + 1035000 \text{ Дж}) / (48620000 \text{ Дж}) * 100 \% = 0,03 * 100 \% = 3 \%$$

Заключение

В ходе исследования была изучена история и методы дистилляции, проведен опыт по опреснению воды в домашних условиях, в ходе которого была подтверждена информация из теоретической части. По результатам проведенного эксперимента КПД метода обычной дистилляции в домашних условиях составил 3 %.

Библиографический список

1. Вода: способы очистки, свойства воды и здоровье. URL: <https://o8ode.ru> (дата обращения: 14.02.2022).
2. Станции и инженерные системы подготовки воды на базе обратного осмоса. Оборудование для водоочистки. URL: <https://osmos.ru> (дата обращения: 15.02.2022).
3. Мосин О. В. Установки опреснения морской воды // Сантехника, 2011. 4 с.

УДК 621.865.8

Г. С. Карбанов

студент кафедры «Автоматизированные технологические системы»*

А. Н. Селюков

студент кафедры «Автоматизированные технологические системы»*

О. Н. Крахмалев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель*

*Брянский Государственный технический университет

ДЕМОНСТРАЦИЯ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ НА ПРИМЕРЕ 6-DOF РОБОТА**Введение**

Промышленные роботы являются одним из компонентов автоматизированных производственных систем, применяемых в гибки автоматизированных производствах, которые позволят увеличить производительность труда в целом при неизменном уровне качества. Промышленный робот представляет собой машину, основное назначение которой состоит в перемещении своего рабочего органа (РО) в пространстве по заданной траектории.

Число степеней подвижности и рабочую зону манипуляционной системы (МС) робота определяют сочетание, взаимное расположение звеньев и кинематических пар. Обычно предполагают, что первые три кинематические пары реализуют перемещение рабочего органа по заданной траектории, а остальные – ориентацию РО в пространстве.

Объектом исследования данной работы являются манипуляционные системы (МС) роботов, которые представляют собой разомкнутые кинематические цепи, состоящие из звеньев, соединенных между собой кинематическими парами пятого класса [1]. Для описания структуры МС роботов используется метод графов, основанный на понятии древовидной структуры [2].

При описании кинематики МС рассматриваются две основные задачи кинематики: прямая и обратная.

Прямая задача кинематики (ПЗК) заключается в определении положения и ориентации РО относительно абсолютной системы координат по известному вектору обобщенных координат и заданным геометрическим параметрам.

Обратная задача кинематики (ОЗК) заключается в определении обобщенных координат по заданному положению и ориентации РО в абсолютной системе координат с учетом кинематической схемы МС робота.

Геометрическая модель

Геометрическая модель МС роботов – математическая модель, позволяющая определить положение МС роботов в абсолютной системе координат.

Для определения положения МС роботов в пространстве используется метод двух связанных систем координат.

Для исследуемой модели все кинематические пары являются вращательными. Количество звеньев модели равно шести.

Движение манипуляционной системы рассматривается в инерциальной системе координат, жестко связанной с ее основанием. Поместим начало этой системы координат в центр первой кинематической пары (рис. 1).

Положение МС роботов в пространстве может быть определено с помощью матриц преобразования однородных координат размерностью (4×4) .

Матрица преобразования однородных координат из локальной системы, связанной с k -м звеном, в абсолютную систему представляет собой последовательность произведений матриц $A_{(i-1),i}$, где $i = (1, \dots, k)$ [3]:

$$A_{0,k} = \prod_{i=1}^k A_{(i-1),i}. \quad (1)$$

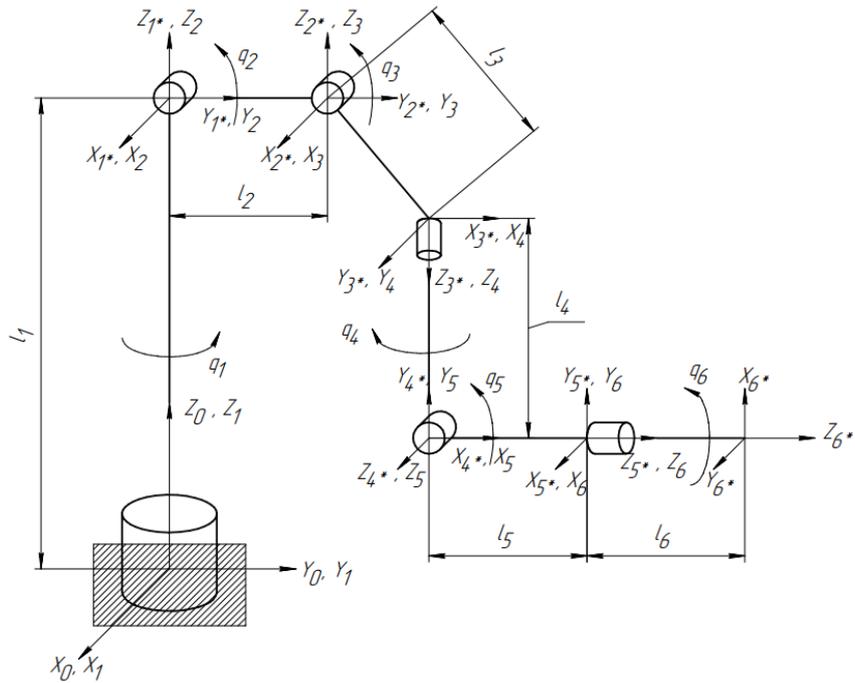


Рис. 1. Кинематическая схема

Соответственно, $A_{0,6^*} = A_{0,6} A_{6,6^*}$.

Тогда матрица $A_{0,6^*}$ в общем виде:

$$A_{0,6^*} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(X_0, X_{6^*}) & \cos(X_0, Y_{6^*}) & \cos(X_0, Z_{6^*}) & X_{6^*} \\ \cos(Y_0, X_{6^*}) & \cos(Y_0, Y_{6^*}) & \cos(Y_0, Z_{6^*}) & Y_{6^*} \\ \cos(Z_0, X_{6^*}) & \cos(Z_0, Y_{6^*}) & \cos(Z_0, Z_{6^*}) & Z_{6^*} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Для решения ОЗК нам потребуются частные производные матриц по i -й обобщенной координате. Для удобства программирования данной операции вместо вычисления производной каждого элемента матрицы целесообразно пользоваться матрицами дифференцирования:

$$D_i = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ если } i\text{-я кинематическая пара вращательная, } D_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ если посту-}$$

пательная.

В таком случае частная производная матрицы принимает вид:

$$\frac{\partial A_{(i-1),i}}{\partial q_i} = A_{(i-1),i} D_i. \quad (2)$$

Частная производная матрицы положения же равна:

$$\frac{\partial A_{0,k}}{\partial q_i} = A_{0,(i-1)} \frac{\partial A_{(i-1),i}}{\partial q_i} A_{i,k}. \quad (3)$$

Тогда, подставив сюда уравнение (2), получим:

$$\frac{\partial A_{0,k}}{\partial q_i} = A_{0,(i-1)} D_i A_{i,k}. \quad (4)$$

Функция положения и формирование матрицы Якоби

Применяя матрицы преобразования однородных координат, абсолютные координаты точки M k -го звена в абсолютной системе координат, заданные радиус-вектором $\bar{r}_M^{(0)}$, можно определить из уравнения:

$$\bar{r}_M^{(0)} = A_{0,k} \bar{r}_M^{(k)}, \tag{5}$$

где $\bar{r}_M^{(k)}$ – радиус-вектор, определяющий локальные координаты точки M , заданные в системе координат, связанной с k -м звеном. Радиус-вектор $\bar{r}_M^{(0)}$ также называют функцией положения МС робота.

Аналитическим методом определим взаимосвязь между обобщенными координатами и шестью wybranными параметрами, продифференцировав функцию положения:

$$d\bar{r}^{(0)} = \sum_{i=1}^k \frac{\partial A_{0,k} \bar{r}^{(k)}}{\partial q_i} dq_i. \tag{6}$$

Заменяв дифференциалы малыми приращениями обобщенных координат Δq_i , для выбранной МС робота получим:

$$\begin{bmatrix} \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_1} & \dots & \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_6} \\ \bar{j}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_1} & \dots & \bar{j}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_6} \\ \bar{k}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_1} & \dots & \bar{k}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{r}^{(6)}}{\partial q_6} \\ \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{j}_6}{\partial q_1} & \dots & \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{j}_6}{\partial q_6} \\ \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{k}_6}{\partial q_1} & \dots & \bar{i}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{k}_6}{\partial q_6} \\ \bar{j}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{k}_6}{\partial q_1} & \dots & \bar{j}_0 \frac{\partial A_{0,6} \bar{k}_6}{\partial q_6} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \\ \Delta q_3 \\ \Delta q_4 \\ \Delta q_5 \\ \Delta q_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \\ \Delta e_{X_0, Y_6} \\ \Delta e_{X_0, Z_6} \\ \Delta e_{Y_0, Z_6} \end{bmatrix}, \tag{7}$$

где $\bar{i}_0 = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$, $\bar{j}_0 = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$, $\bar{k}_0 = [0 \ 0 \ 1 \ 0]$, $\bar{j}_6 = \bar{j}_0^T$, – орты, $e_{X_0, Y_6}, e_{X_0, Z_6}, e_{Y_0, Z_6}$ – углы между соответствующими осями.

Запишем уравнение (7) в символьном виде:

$$\{J\} \{\Delta q\} = \{\Delta X\}, \tag{8}$$

где $\{J\}$ – матрица Якоби размерностью (6×6); $\{\Delta q\}$ – вектор приращения однородных координат; $\{\Delta X\}$ – вектор приращения положения и ориентации РО.

$\bar{k}_6 = \bar{k}_0^T$, Для формирования последних трех строк матрицы Якоби необходимо знать ориентацию РО в пространстве. Для этого выбираются три недиагональных элемента матрицы $A_{0,6}^*$, представляющие собой косинусы углов между осями, в данном случае это элементы a_{12} , a_{13} и a_{23} [4].

Три угловые координаты, задающие ориентацию, расширяют вектор положения рабочего органа и позволяют перемножить его с обратной матрицей Якоби.

Однако данные углы не имеют достаточной наглядности, поэтому для визуализации и анализа мы будем использовать самолетные углы.

Угол α (угол рысканья) определяет отклонение РО от плоскости XOZ_0 , угол β (угол тангажа) задает отклонение от горизонтальной координатной плоскости XOY_0 , а угол γ (угол крена) является углом вращения схвата вокруг собственной оси Z_6^* .

Последовательность поворотов на эти углы можно представить в виде последовательного умножения соответствующих матриц поворотов:

$$M_{\alpha\beta\gamma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\alpha & 0 & -S\alpha \\ 0 & 1 & 0 \\ S\alpha & 0 & C\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\beta & -S\beta \\ 0 & S\beta & C\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\gamma & S\gamma & 0 \\ -S\gamma & C\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $C\alpha, C\beta, C\gamma, S\alpha, S\beta, S\gamma$ – косинусы и синусы соответствующих углов.

Тогда:

$$M_{\alpha\beta\gamma} = \begin{bmatrix} C\alpha C\gamma + S\alpha S\beta S\gamma & C\alpha S\gamma - S\alpha C\gamma S\beta & -C\beta S\alpha \\ S\alpha C\gamma - C\alpha S\beta S\gamma & S\alpha S\gamma + C\alpha C\gamma S\beta & C\alpha C\beta \\ C\beta S\gamma & -C\beta C\gamma & S\beta \end{bmatrix}.$$

Полученная матрица поворота отражает ориентацию системы координат, связанной с РО относительно абсолютной системы координат. Следовательно, элементы матрицы $M_{\alpha\beta\gamma}$ равны соответствующим элементам матрицы $A_{0,6}^*$.

Тогда можно выразить самолетные углы из полученной матрицы $M_{\alpha\beta\gamma}$:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a_{23}}{\cos\beta}\right), \beta = \arcsin(a_{33}), \gamma = \arccos\left(\frac{a_{32}}{-\cos\beta}\right). \quad (10)$$

Разработка алгоритма решения задачи

Для решения уравнения (8) численным методом определитель матрицы Якоби должен быть неравен нулю, то есть его коэффициент сервиса должен быть достаточно высок [5]. Это достигается исследованием рабочей зоны МС робота и выбором траектории в ней.

Для удобства вычисления и программирования выберем метод Гаусса.

Для каждого следующего шага алгоритма используется решение, полученное на предыдущем ходу:

$$\{J(q^k)\} \{\Delta q^k\} = \{\Delta X^k\}; \quad (11)$$

$$\{\Delta X^k\} = \{X^{k+1}\} - \{X^k\}; \quad (12)$$

$$\{q^{k+1}\} = \{q^k\} + \{\Delta q^k\}, \quad (13)$$

где $\{\Delta q^k\}$ – решение уравнения (8) на k -м шаге итерации; $\{q^k\}$ – вектор обобщенных координат, соответствующих этому решению.

На рис. 2–4 представлена блок-схема алгоритма решения, где L – массив векторов, определяющих форму звеньев; N – нужное количество шагов итерации; q_0 – шарнирные координаты на момент начала движения; X – абсолютные координаты конечного звена.

На основе представленного алгоритма было разработано программное обеспечение (ПО) для решения ОЗК выбранной кинематической семьи МС робота. ПО написано на языке C++ с использованием средств объектно-ориентированного программирования.

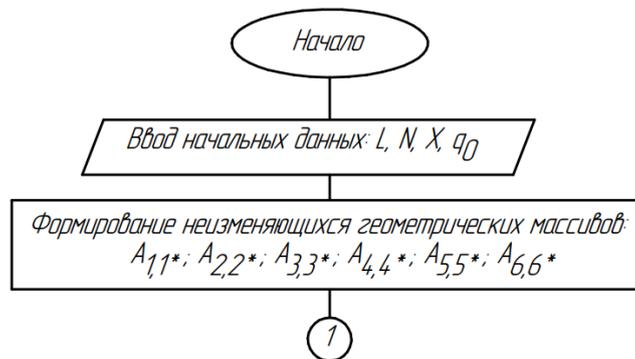


Рис. 2. Блок-схема алгоритма

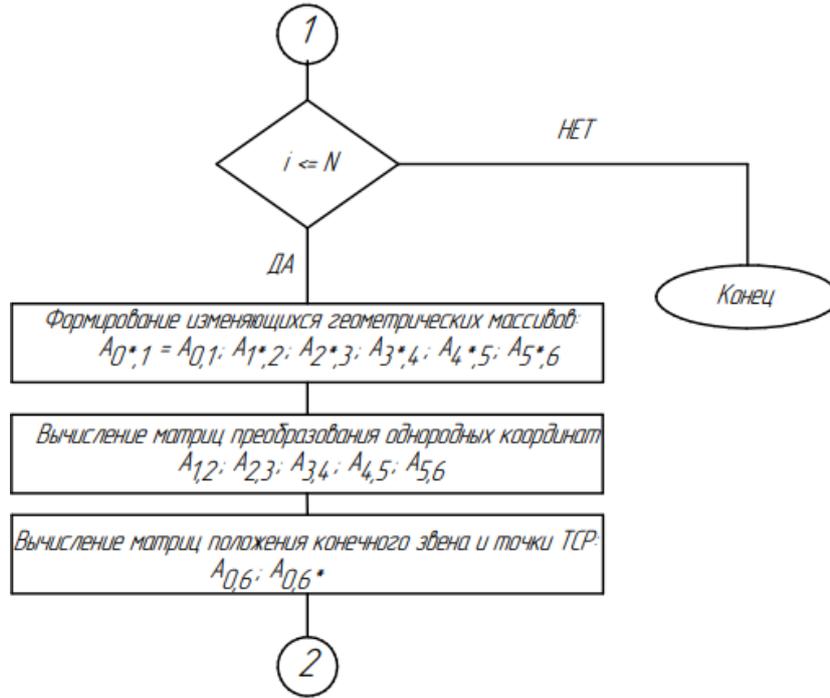


Рис. 3. Блок-схема алгоритма



Рис. 4. Блок-схема алгоритма

Визуализация решения ОЗК

Для визуализации решения ОЗК, полученной с помощью разработанного ПО, в программе КОМПАС-3D была разработана 3D-модель промышленного робота.

Зададим траекторию, представляющую собой четырехугольник, обозначенный на рис. 5 синим цветом:

Оси X, Y, и Z на рис. 6–10 соответствуют осям X6*, Y6* и Z6*, представленными на рис. 1 соответственно.

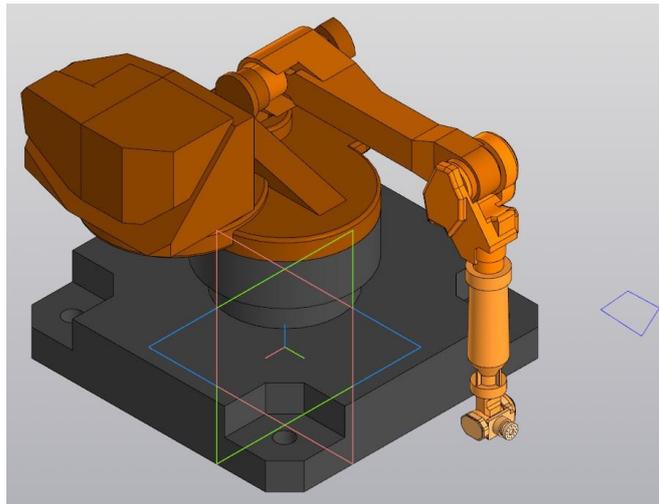


Рис. 5. Начальное положение модели

Действительная траектория, полученная при решении ОЗК обозначена красным цветом. Положение 3D-модели в 1–5 точках действительной траектории проиллюстрировано на рис. 6–10:

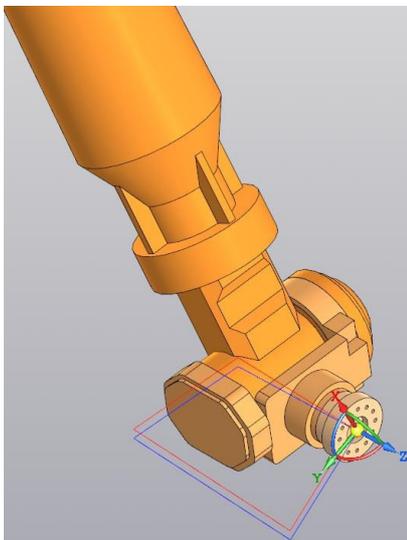


Рис. 6. 1-я точка траектории

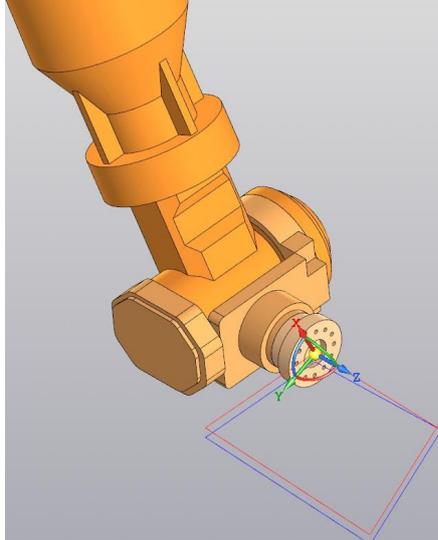


Рис. 7. 2-я точка траектории

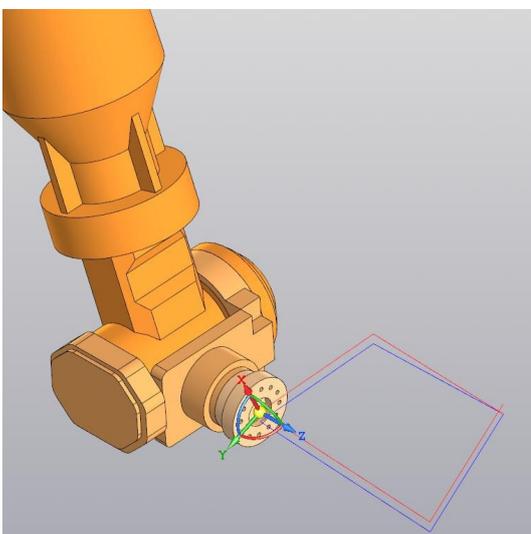


Рис. 8. 3-я точка траектории

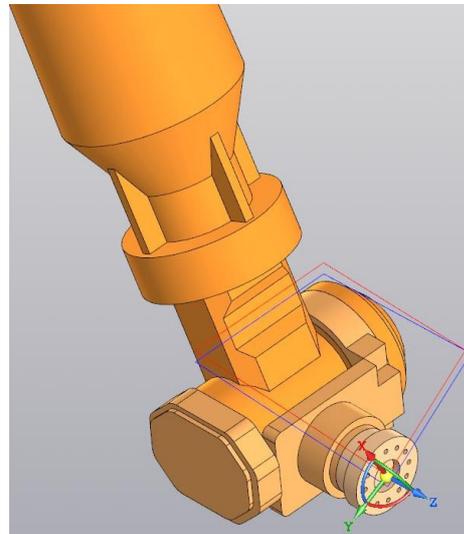


Рис. 9. 4-я точка траектории

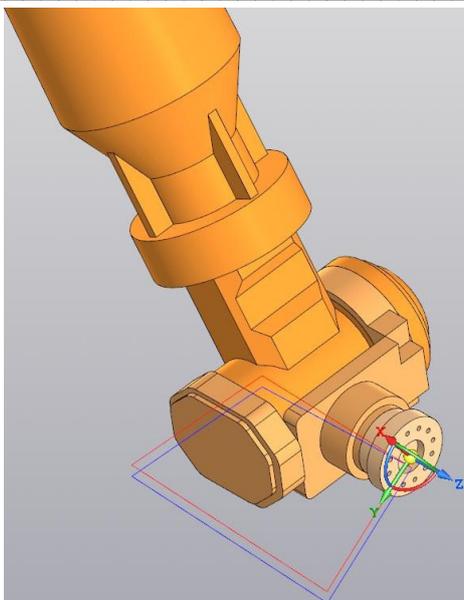


Рис. 10. 5-я точка траектории

Координаты действительной и заданной траекторий представлены в табл. 1.

Таблица 1

Траектория										
Координата	Заданная					Действительная				
	Точка №									
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
X	-25.937	-20	-16	-21	-25.937	-25.937	20.0008	16.0019	21.0031	-25.94
Y	111.537	106	100	110	111.537	111.537	105.991	99.9869	109.975	111.5
Z	55.374	61	54	48	55.374	55.374	61.7471	54.7518	48.754	56.128

Самолетные углы, определяющие ориентацию РО МС робота в пространстве в точках заданной и действительной траектории приведены в табл. 2.

Таблица 2

Углы, рад					
Траектория		α	β	γ	
Заданная	Точка №		-0.426421	0.826915	1.95961
			-0.382788	0.870548	1.91598
			-0.339155	0.914181	1.87235
			-0.295522	0.957814	1.82871
			-0.25189	1.00145	1.78508
Действительная	Точка №		-0.425939	0.827388	1.90357
			-0.382318	0.871031	1.85722
			-0.33872	0.914673	1.82269
			-0.29511	0.958268	1.79878
			-0.25189	1.00145	1.78508

Заключение

В данной работе представлен разработанный математический алгоритм, на основе которого написано ПО, реализующее решение ОЗК методом Гаусса. Результаты решения ОЗК на заданной траектории, полученные при помощи разработанного ПО, были проиллюстрированы с помощью разработанной 3D-модели промышленного робота и представлены в таблицах.

Полученные результаты можно использовать в дальнейшем для оценки погрешности положения и ориентации РО МС робота в пространстве, разработки методов для уменьшения этих погрешностей, оптимизации программы и алгоритма и дальнейшего исследования динамики МС робота.

Библиографический список

1. *Артоболовский И. И.* Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1975. 640 с.
2. *Крахмалев О. Н.* Математическое моделирование динамики манипуляционных систем промышленных роботов и кранов-манипуляторов. Брянск: БГТУ, 2012. 200 с.
3. *Крахмалев О. Н., Петрешин Д. И., Федонин О. Н.* Математическое обеспечение систем управления промышленными роботами и многокоординатными станками для коррекции влияния на их движение геометрических отклонений. Проблемы машиностроения и автоматизации. 2016. № 3. С. 28–35.
4. *Крахмалев О. Н.* Моделирование манипуляционных систем роботов: учеб. пособие. Саратов, 2018. 165 с.
5. *Корендясев А. И., Саламандра Б. Л., Тьвес Л. И.* / Под ред. С. М. Каплунова. Теоретические основы робототехники: в 2 кн. Рос. акад. наук, Ин-т машиноведения им. А. А. Благонравова. М.: Наука, 2006.

УДК 621.311.25

П. А. Клишковский

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Мартынов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОЛНЫ И ТОЧЕЧНОГО ПОГЛОТИТЕЛЯ**

Поглощение энергии волн преобразователем энергии волны (ПЭВ) означает, что энергия должна быть поглощена из волн. Следовательно, должно быть подавление или ослабление волн, проходящих через устройство или отражающихся от него. Волны, создаваемые ПЭВ, разрушительно мешают входящим волнам. Таким образом, ПЭВ может быть определен как генератор волн. Если ПЭВ и его компоненты остаются неподвижными, энергия не будет поглощаться, но падающие волны все равно будут подвержены дифракции на теле [1]. Именно движение ПЭВ поглощает энергию.

Рисунок 1 дает основные принципы того, как энергия падающей волны поглощается точечным поглотителем. Если точечный поглотитель находится в резонансе и испытывает только колебательное движение, симметричная волна излучается с той же частотой, что и падающая волна, и с уменьшенной высотой волны по сравнению с падающими волнами, как показано на рис. 1, а. В идеале можно извлечь только половину энергии из качки. Рисунок 1, б показывает тангаж, при котором генерируются антисимметричные волны и теоретическая возможность поглощения более половины энергии падающей волны. Рисунок 1, в показывает суперпозицию падающей волны, качки и килевой качки. В идеале, используя эту комбинацию, можно извлечь всю энергию падающей волны.

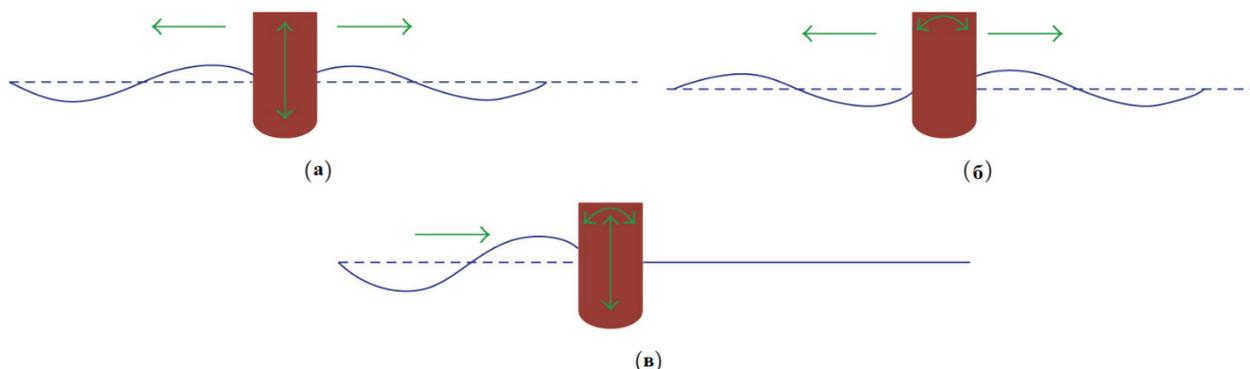


Рис. 1: а – поведение волны при качке; б – поведение волны при килевой качке; в – наложение волн

Когда точечный поглотитель поглощает энергию падающей волны, он генерирует круговую волну, излучаемую от тела. Рисунок 2 показывает излучение волн одиночным буйком в спокойной воде и при взаимодействии с ним волн. Уменьшенная амплитуда волны в направлении волны после точечного поглотителя возникает из-за компенсации падающей волны излучаемой волной. Поглощение волновой энергии можно рассматривать как явление интерференции между падающими и излучаемыми волнами. Если структура очень велика по сравнению с длиной волны, изменения падающей волны будут происходить на большой площади.

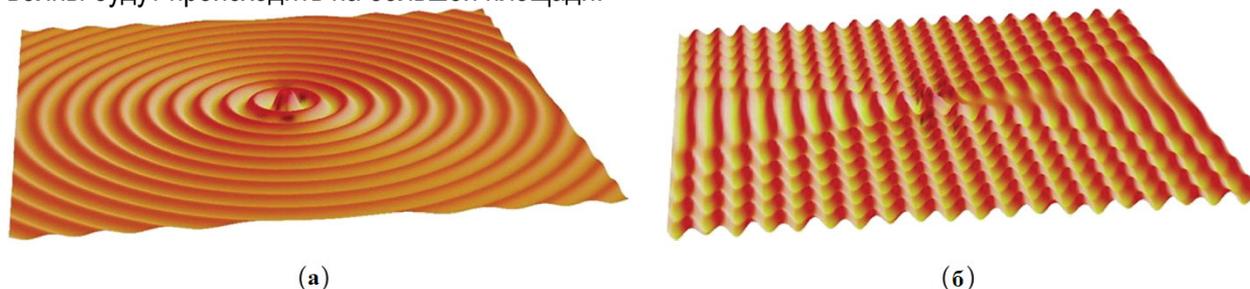


Рис. 2. Излучение волны бумом в качке: а – на спокойной воде; б – при взаимодействии падающей волны с преобразователем

Для ПЭВ основной величиной, используемой для оценки производительности устройства, является ширина захвата. Она определяется как ширина входящего волнового фронта, мощность которого равна мощности, поглощаемой устройством. Он может быть больше, чем размер устройства, и этого можно достичь, если устройство излучает волны, которые деструктивно интерферируют с окружающими морскими волнами, поэтому в море остается меньше мощности, а разница передается в ПЭВ. Точечные поглотители могут поглощать энергию волны с фронта волны, во много раз превышающего ключевой горизонтальный размер устройства, и поэтому обладают большой потенциальной шириной захвата. Эту характеристику можно улучшить, если точечный поглотитель будет испытывать колебания с величинами, во много раз превышающими амплитуды падающих волн.

Ф. Фарли рассчитал ширину захвата, рассматривая энергетический баланс в море вдали от ПЭВ, полностью определяемый волнами, генерируемыми устройством. Мощность, захватываемая ПЭВ, равна мощности, вычитаемой из падающих волн интерференцией, за вычетом мощности, распространяющейся во всех направлениях. Это было использовано для получения соотношения между шириной захвата и угловым распределением суммарного количества всех волн, генерируемых ПЭВ. Такое соотношение справедливо для любого разумно компактного ПЭВ или их комбинации при условии оптимизации углового распределения общей волны, генерируемой ПЭВ, а также ее фазы и амплитуды. В большинстве случаев это можно сделать, регулируя резонансную частоту и внутреннее демпфирование системы [2].

Силы, вызванные волнами и движением плавучих сооружений, могут быть решающими факторами при определении их размеров. Изучение волновых характеристик важно для проектирования поглотителя ПЭВ с плавающей запятой. На рис. 3 изображена схематическая диаграмма волны, где ξ – угол наклона (более 30° для обрушивающейся волны); β – угол внутреннего гребня (менее 120° для обрушивающейся волны); λ – длина волны; H – высота волны; x – линейное расстояние от впадины до гребня. Для точечного поглотителя размеры будут много меньше $x/2$.

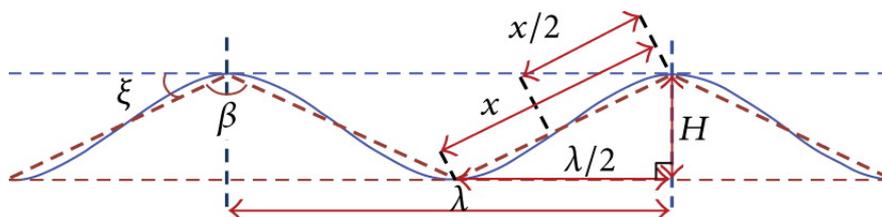


Рис. 3. Схематическая диаграмма волновых характеристик

Крутизна волны очень важна для выходной мощности, а также для выживания устройства. Для плавучего ПЭВ с длиной, большей или равной x , некоторые части устройства могут оказаться под водой больше, чем требуется, когда волны становятся крутыми. Даже если структурных повреждений нет, это может повлиять на выходную мощность. С другой стороны, устройство меньшего размера сможет работать практически в любых условиях.

Структура в волнах сталкивается с тремя типами нагрузок: сопротивлением, инерцией и дифракцией. Нагрузки сопротивления возникают из-за отрыва потока, инерционные нагрузки возникают из-за градиентов давления, связанных с относительным ускорением окружающей жидкости, а силы дифракции возникают из-за рассеяния падающих волн из-за взаимодействия волны с конструкцией. Расчет волновых сил на плавучий ПЭВ может быть выполнен с учетом размера устройства, а также длины и высоты падающих волн. Для небольших конструкций, где диаметр устройства составляет менее 20 % длины волны, для оценки волновых сил, действующих на устройство, используется уравнение Морисона. Диаметр устройства считается достаточно малым по сравнению с длиной волны, так что падающие волны не подвергаются значительным изменениям. Уравнение Морисона предполагает, что волновые силы выражаются как сумма силы сопротивления из-за скорости волновой жидкости и силы инерции из-за ускорения волн. Для более крупных структур, диаметр которых превышает 20 % длины волны, силами сопротивления можно пренебречь, поскольку не происходит отрыва потока; таким образом, уравнение Морисона больше не применимо. Сила возбуждения, получаемая точечным поглотителем от волн, зависит от его геометрии [3].

Библиографический список

1. Преобразование энергии морских волн / С. Д. Чижумов, В. М. Козин, И. В. Каменских, М. А. Синюкова, А. А. Гентова. Комсомольск на Амуре: ФГБОУ ВПО, 2014. 173 с.
2. *Farley F.* Far-field theory of wave power capture by oscillating systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Vol. 370. N 1959. P. 278–287.
3. *Faizal M., Ahmed M., Lee Y.* A design outline for floating point absorber wave energy converters. *Advances in Mechanical Engineering*, 2014.

УДК 621.311.25

П. А. Клишковский

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Мартынов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ВОЛН. КРИТЕРИИ ВЫБОРА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Энергия океана является одним из наименее используемых возобновляемых и устойчивых источников энергии, но реализовать ее достаточно сложно из-за непредсказуемости и большого диапазона интенсивности волн, волнения неравномерны. Небольшая морская волна имеет мощность около 10 кВт/м, а шторм может генерировать 10 МВт/ч. То есть разработать устройство для эффективного отбора мощности в широком диапазоне амплитуд и частот довольно сложно [1].

При проектировании преобразователя волновой энергии в первую очередь следует выбрать тип технологии сбора. Для выбора метода промысла необходимо учитывать характеристики энергетических свойств и ресурсов океанских волн, оценку площадки и другие факторы, определяющие живучесть и успешную работу преобразователем энергии волны (ПЭВ) в открытом море.

Поскольку волны различаются по высоте и периоду, установка, рассчитанная только на большие волны, не будет работать при слабых волнах, а электростанция, рассчитанная только на слабые волны, может быть легко повреждена штормовыми волнами. Вероятность появления экстремальных волн всегда существует. Раз в 50 лет волна бывает в 10 раз выше средней. Поэтому преобразователи должны выдерживать волну в сотни раз большей мощности по сравнению со средней волной. Таким образом, при проектировании ВлЭС необходимо закладывать большой запас прочности. Отсюда исходит высокая стоимость конструкций и снижение КПД преобразователей в нормальных условиях эксплуатации. В результате многие технические решения становятся нерентабельными из-за высокой материалоемкости конструкций.

Наибольшая мощность волн характерна для открытых морских пространств с высокой продолжительностью сильных ветров. Но имеются естественные трудности в строительстве и закреплении конструкций для данных областей и волновых режимов, а также передачи энергии на сушу. По этой причине чаще всего до сих пор используются преобразователи энергии волн для прибрежных вод.

Периоды морских волн составляют всего несколько секунд. Эти медленные и неравномерные движения сложно преобразовать в высокочастотную нагрузку для эффективной работы электрогенераторов с номинальной частотой вращения в сотни герц.

Сегодня существует большой выбор преобразователей волновой энергии, но большая их часть недостаточно теоретически обоснованы и практически отработаны. Нет методов проектирования, четких рекомендаций по местам установки. В результате выбор эффективных устройств усложняется.

Также существенным недостатком волновых электростанций является невозможность работы, когда поверхность воды, скованной льдом.

Имея на сегодняшний день большое разнообразие запатентованных преобразователей волновой энергии, попробуем заранее обозначить некоторые критерии выбора оптимальных вариантов с точки зрения наибольшей эффективности «улавливания» и использование энергии. Эти критерии представляются нам в следующем виде [2].

1. Для наилучшего улавливания волновой энергии по высоте рабочий орган в виде вертикального барьера должен иметь высоту, соответствующую глубине распространения основного водного возмущения (не ниже высоты волны). Если рабочее тело расположено горизонтально на поверхности воды, получая энергию от вертикальных движений волн, то его размеры в направлении движения волны должны быть соизмеримы с длиной самой волны, которая значительно больше, чем высота волны. Следовательно, поглотители энергии сопоставимой мощности на основе вертикальных конструкций будут более компактными, чем системы в виде плавучих плотов или понтонов.

2. Так как количество получаемой энергии прямо пропорционально длине используемого фронта волны, рабочее тело преобразователя должно быть вытянуто по фронту (или сформирована

последовательность рабочих органов по фронту). Преимущество с этой точки зрения имеют преобразователи типа «терминатор». Преобразователи типа атенюатор и точечный поглотитель, будут эффективны только в системах с небольшим выходом энергии (например, на плавучих навигационных огнях, кораблях и т. д.) или в сети из множества преобразователей.

3. Для уменьшения площади рабочего тела можно использовать концентратор волновой энергии. Однако известные концентраторы в виде каналов с сужающимися стенками и наклонным дном обычно слишком громоздки, дороги и неэффективны, так как помимо концентрации волновой энергии в достаточно узком диапазоне частот приводят к потерям энергии на трение о стенки и дна канала и разрушения относительно небольшими волнами. В связи с этим в качестве концентратора энергии по возможности стоит использовать естественные условия: рельеф дна и форму береговой линии (для береговых установок) или противотечение.

4. Тип электрогенератора тесно связан с конструкцией привода. Поскольку скорость изменения магнитного потока пропорциональна ЭДС, генератор электрического тока наиболее эффективен при высокой частоте вращения. Поэтому привод обязан обеспечивать преобразование низкочастотных колебаний морских волнений во вращение генератора с высокой частотой [3].

5. «Гибкость» автоматического управления параметрами работы преобразователя может быть тесно и эффективно связана с физической гибкостью (эластичностью) рабочих тел. Эластичные конструкции также способны обеспечить большую безопасность при воздействии сильных волнений.

6. Рабочее тело должно иметь как большую эффективность сбора мощности волны, так и наибольшую площадь ее «захвата». Как и любая колебательная система, для этого оно должно иметь оптимальное сочетание упругих и инерционных свойств, по возможности обеспечивающее работу в резонансе.

Библиографический список

1. *Шишкин И. Л.* Некоторые направления развития и перспективы использования морской ветровой и волновой энергетики в современных странах // Вологдинские чтения. 2012. С. 135–137.
2. Преобразование энергии морских волн / С. Д. Чижумов, В. М. Козин, И. В. Каменских и др. Комсомольск на Амуре: ФГБОУ ВПО, 2014. 173 с.
3. *Гаджиев Я. М., Гаджиев М. А.* Преобразователь энергии морских волн // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 4. С. 39–41.

Сдвиг z^e всплывающего клина к z^i погружающегося клина можно разделить на сдвиг по горизонтали и по вертикали. Горизонтальное смещение вызывает горизонтальное смещение центра плавучести от B к B' , вычисляемое как

$$BB' = BM_i \cdot \tan \varphi. \quad (3)$$

Горизонтальный сдвиг описывает начальный метацентр M_i , как показано на рисунке. Расстояние BM_i можно рассчитать через момент инерции водной плоскости I и водоизмещающий объем ∇ :

$$BM_i = I / \nabla \quad (4)$$

Вертикальный сдвиг вызывает вертикальное смещение центра плавучести от B' до B'' , которое рассчитывается как

$$B' B'' = M_i M \quad (5)$$

$$M_i M = I / \nabla \cdot 1/2 \tan^2 \varphi \quad (6)$$

Вертикальный сдвиг описывает метацентр M , как показано на рисунке. Расстояние $M_i M$ можно рассчитать через момент инерции водной плоскости I , объем водоизмещения ∇ и угол крена φ :

Расстояние BM можно рассчитать из суперпозиции (4) и (5):

$$BM = BM_i + M_i M$$

$$BM = BM_i (1 + 1/2 \tan^2 \varphi) \quad (7)$$

При малых углах наклона влиянием вертикального смещения центра плавучести можно пренебречь, но это необходимо учитывать при больших углах наклона. Важным параметром для понимания устойчивости плавучего устройства является GZ – кривая или кривая устойчивости. Рисунок 2 показывает схему кривой статической устойчивости для симметричного устройства при положительном значении GM . Условием положительной устойчивости плавающего тела является наличие метацентра над центром тяжести (положительное значение GM). GZ , которое сильно зависит от угла наклона, является мерой того, насколько устойчивым или неустойчивым является плавучее устройство при различных углах наклона. Диапазон углов, для которых GZ положителен, известен как диапазон устойчивости [2].

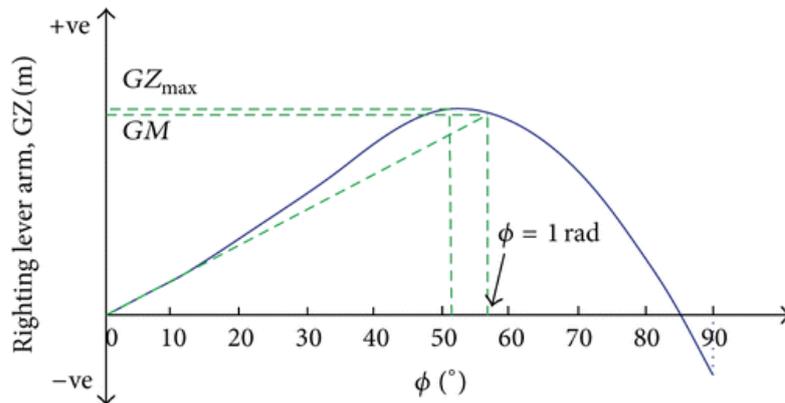


Рис. 2. Схематическая диаграмма кривой статической устойчивости

Чтобы плавсредство было устойчивым, GZ должно быть положительным для всех углов. Площадь под кривой дает энергию восстановления, и чем она больше, тем больше способность плавсредства к самовосстановлению. Максимальное значение GZ , которое будет иметь место при определенном угле наклона, даст наибольший установившийся кренящий момент, которому может сопротивляться плавсредство без опрокидывания. Для определенного угла, известного как угол исчезновения устойчивости, GZ уменьшится до нуля. Для очень больших углов значение GZ может стать отрицательным, давая отрицательную устойчивость, которая может опрокинуть устройство. Форма кривой устойчивости

зависит от геометрии и нагрузки плавучего устройства. Распределение массы плавсредства может меняться в зависимости от угла наклона, и связанное с этим смещение центра тяжести приводит к уменьшению восстанавливающего плеча GZ . Это приводит к потерям устойчивости. Распределение масс может изменяться из-за воздействия жидкостей со свободными поверхностями в устройстве из-за свободно подвешенных грузов, а также из-за нагрузок, приложенных от системы швартовки.

Если стороны устройства, пересекающие воду, вертикальны на некотором расстоянии выше и ниже плоскости воды, то устройство можно определить как конструкцию со стеной. Критерий стороны стены, однако перестает действовать, когда углы становятся настолько большими, что плоскость воды быстро меняется, например, когда угол сторон устройства, который встречается с дном устройства, выходит из воды. Для очень больших углов наклона и сложной геометрии интегралы поверхности давления, выполненные с помощью компьютерных программ, могут использоваться для определения устойчивости плавучего устройства [3].

Библиографический список

1. Преобразование энергии морских волн / С. Д. Чижумов, В. М. Козин, И. В. Каменских и др. Комсомольск на Амуре: ФГБОУ ВПО, 2014. 173 с.
2. Farley F. Far-field theory of wave power capture by oscillating systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Vol. 370. N 1959. P. 278–287.
3. Patel M. *Dynamics of Offshore Structures*, Butterworth and Co. London, UK, 1989.

УДК 531.133.1

А. Д. Корнелюк

бакалавр кафедры электромеханики и робототехники

В. Е. Белай – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**ОБРАТНАЯ КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА****Введение**

Основным задачами в кинетическом анализе манипулятора являются прямая и обратная кинематические задачи. Прямая задача для манипулятора – это вычисление положения (x, y, z) его рабочего органа по кинематической схеме при известных значениях обобщенных координат углов поворота осей робота (q_1, q_2, \dots, q_n) , где n – число степеней свободы манипулятора. Обратная задача – это вычисление величин обобщенных координат по заданному положению (x, y, z) рабочего органа при известной схеме кинематики манипулятора. Из обратной задачи кинематики (ОЗК) по положению звеньев также вытекает задача о скоростях звеньев и ОЗК о силах и моментах инерции в соединениях звеньев, которую принято называть обратной динамической задачей.

Для решения ОЗК принято считать что ПЗК уже решена, тогда исходными данными для ОЗК являются три линейные координаты смещения системы координат i относительно j (заключенные в вектор p_i^j внутри матрицы преобразований); три угловые координаты (например, три угла Эйлера φ , θ и ψ , из которых может быть получена эквивалентная матрица вращения R_n , также являющаяся частью матрицы преобразований). Зачастую линейные координаты заменяются фиксированные параметры Денавита – Хартенберга, обусловленные конструкцией манипулятора (a_i, α_i – постоянные; d_i, θ_i – переменные, в зависимости от типа сочленения). Все эти параметры составляют матрицу преобразования

$$T_i^j = \begin{bmatrix} R_i^j & p_i^j \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & s_x & a_x & x_i \\ n_y & s_y & a_y & y_i \\ n_z & s_z & a_z & z_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & a_i \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & \alpha_i \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} c_\varphi c_\theta c_\psi - s_\varphi s_\psi & -c_\varphi c_\theta s_\psi - s_\varphi c_\psi & c_\varphi s_\theta & a_i \\ s_\varphi c_\theta c_\psi + c_\varphi s_\psi & -s_\varphi c_\theta s_\psi + c_\varphi c_\psi & s_\varphi s_\theta & \alpha_i \\ -s_\theta c_\psi & s_\theta s_\psi & c_\theta & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

В данной матрице векторы n, s, a определяют направления осей повернутой системы координат звена, однако расчет девяти независимых переменных (по три на одну ось) трудозатратен, в связи с чем направляющие вектора были параметризованы углами Эйлера. Также в матрице однородных образований заменены линейные координаты на параметры ДХ.

В общем случае:

$$T_i^0 = T_1^0 T_2^1 \dots T_i^{i-1}$$

В общем случае методы решения ОЗК можно разделить на два типа – итерационные и аналитические. Преимуществом итерационных методов является универсальность, которая позволяет рассчитывать системы произвольной кинематической конструкции. В то же время этот тип методов обладает большой вычислительной сложностью и не гарантирует получение решения в некоторых случаях. Существует большое количество итерационных методов, использующих оптимизационные алгоритмы, эвристические методы и генетические алгоритмы, однако единого и удовлетворяющего требованиям точности и вычислительной сложности алгоритма нет.

Геометрический (аналитический) метод решения ОЗК заключается в нахождении аналитических выражений в явном виде с использованием аппарата тригонометрических функций с учетом заранее известной кинематической схемы манипулятора. Минусом аналитических алгоритмов считается неуниверсальность ввиду работы с конструкцией системы, отличающейся от манипулятора к манипулятору.

Конструкция шестизвенного манипулятора со сферическим запястьем является широко используемой ввиду ее функциональных возможностей. Кроме того, конструкция шестизвенного манипулятора позволяет применять метод кинематической декомпозиции при решении ОЗК геометрическим методом. Кинематическая декомпозиция заключается в разделении ОЗК на две подзадачи: ОЗК по положению (определение $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$); и ОЗК по ориентации (определению $\varphi_4, \varphi_5, \varphi_6$). Соответственно, решение ОЗК геометрическим образом для шестизвенного манипулятора является предпочтительным.

Структурная схема промышленного манипулятора

Робот представляет собой шесть звеньев, последовательно соединенных шарнирами, по одной степени свободы для каждого соединения. Соединения задают вращательное или поступательное движение звеньев, обеспечивая любую необходимую конфигурацию робота в пределах рабочего пространства. Роботы с $n > 6$ звеньев называются избыточными.

Большинство промышленных роботов удовлетворяет одному из следующих двух условий, позволяющих получить решение ОЗК в явном виде.

1. Оси трех смежных сочленений пересекаются в одной точке.
2. Оси трех смежных сочленений параллельны между собой.

Конфигурация ангулярных манипуляторов характеризуется индикаторами конфигурации: рука, локоть. На рис. 2 приведены примеры различных конфигураций ангулярного робота типа Puma.

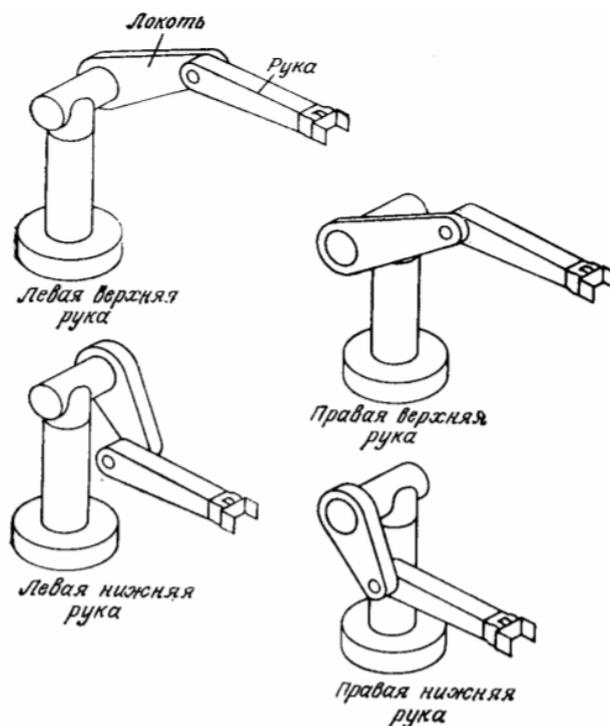


Рис. 1. Конфигурации робота

Однако в процессе эксплуатации промышленные роботы редко задействуют конфигурации сразу обеих «рук». Некоторые роботы также конструкционно ограничены в этом плане. Так, например, на рис. 3 представлен промышленный робот KUKA CR30-3 и его рабочее пространство. Можно заметить, что пространство ограничено практически полностью первым и вторым квадрантом системы координат, то есть отсутствуют конфигурации одной из рук в зависимости от исполнения робота.

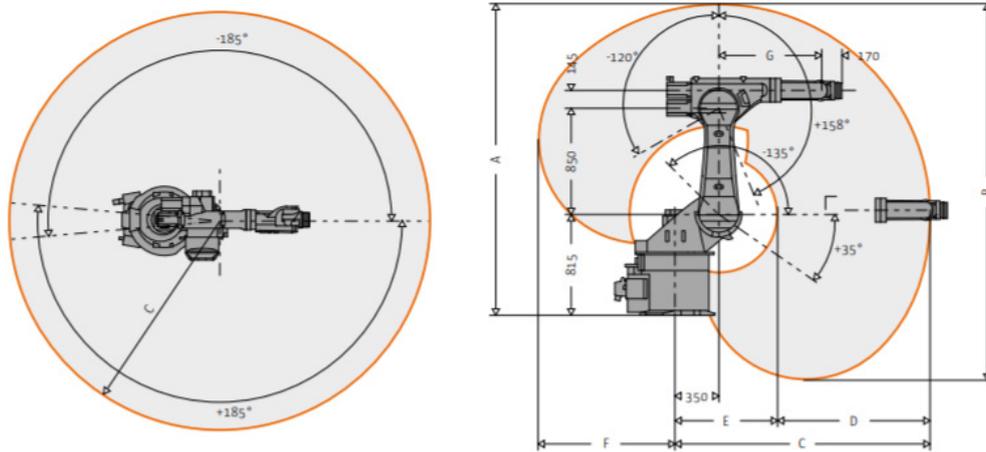


Рис. 2. Рабочее пространство манипулятора

Для реализации кинематического анализа синтезирована кинематическая схема, представленная на рис. 3, отражающая вращательный и поступательный тип соединения звеньев.

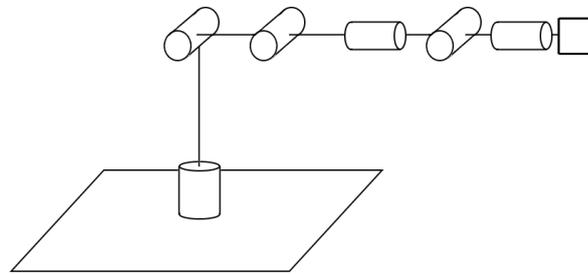


Рис. 3. Структурная схема

Решение ОЗК для шестизвенного манипулятора

Для решения ОЗК будем опираться на параметры Денавита – Хартенберга, позволяющие упростить алгоритм привязки систем координат к звеньям робота и однозначно задать смещение систем координат различных звеньев относительно друг друга. В соответствии с алгоритмом звенья манипулятора нумеруются по порядку, начиная с нуля, где нулевое звено – «земля». Сочленения нумеруются по порядку, начиная с единицы. Тогда каждое i -е сочленение манипулятора соединяет два звена $i - 1$ и i . Системы координат звеньев также задаются в соответствии с некоторым набором правил. На рис. 4 приведен способ выбора осей. Сами ДХ параметры выглядят следующим образом:

- a_i – расстояние вдоль оси x_i от z_{i-1} до z_i ; α_i – угол вокруг оси x_i от z_{i-1} до z_i ; d_i – расстояние вдоль оси z_{i-1} от x_{i-1} до x_i ; θ_i – угол вокруг оси z_{i-1} от x_{i-1} до x_i .

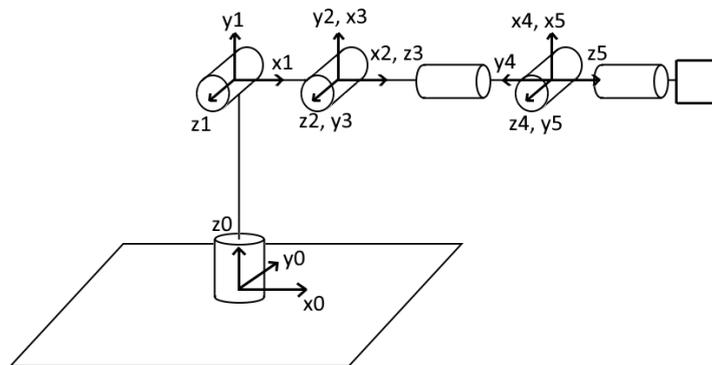


Рис. 4. Структурная схема с системами координат

Для решения ОЗК используем метод кинематической декомпозиции и разделим ОЗК на две отдельные задачи: ОЗК по положению и ОЗК по ориентации. Первой решается задача ОЗК по положению, для этого рассмотрим фронтальную проекцию робота, приведенную на рис. 5.

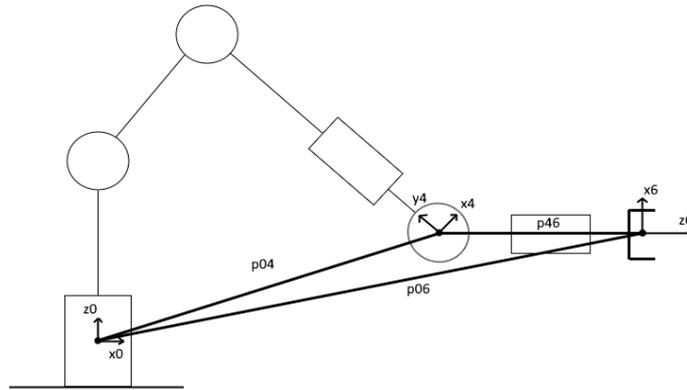


Рис. 5. Фронтальная проекция

Вектор p_4^0 представляет собой произведение ДХ параметра d_6 и матрицы поворота R_6^0 . На рис. 5 матрица R_6^0 представляет собой единичную матрицу, так как отсутствует поворот шестого звена относительно базовой системы координат. Вектор p_6^0 представляет собой вектор смещения оси координат рабочего органа относительно абсолютной оси координат и также известен из матрицы преобразования T_6^0 . Таким образом:

$$p_4^0 = p_6^0 - d_6 R_6^0 \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ где } p_4^0 = \begin{bmatrix} x_4^0 \\ y_4^0 \\ z_4^0 \end{bmatrix}.$$

Таким образом, можно получить линейные координаты точки p_4^0 .

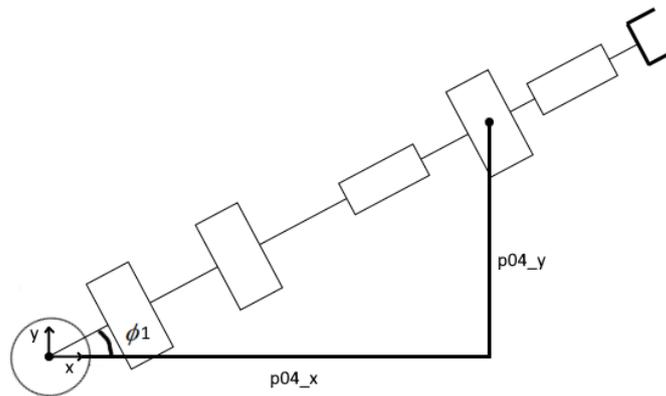


Рис. 6. Вид сверху

Далее из рис. 6 можно найти первую обобщенную координату ϕ_1 определяемую выражением:

$$\phi_1 = \arctan2(y_4^0, x_4^0).$$

Важно отметить, что решение

$$\phi_1 = \arctan2(y_4^0, x_4^0) + \pi$$

также будет верным, однако мы отбросим это решение ввиду указанных выше ограничений о рабочем пространстве, ограниченном только 1 и 2 квадрантом. Также стоит отметить, что полученное нами решение верно при условии что x_4^0 и $y_4^0 \neq 0$. Такой случай будет называться сингулярной точкой.

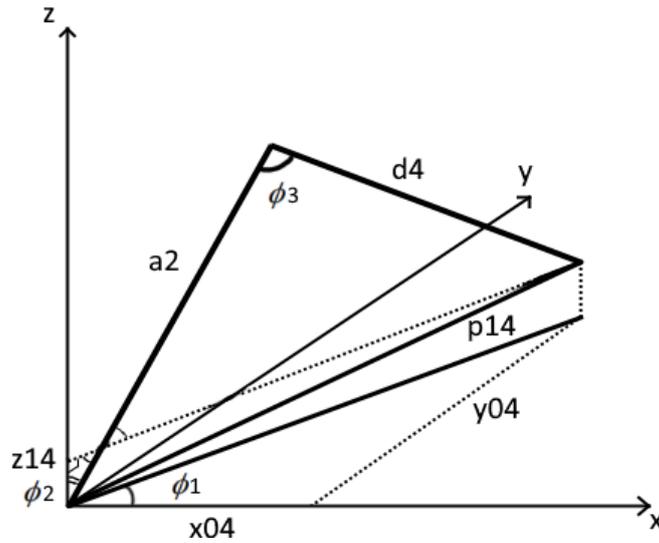


Рис. 7. Схема манипулятора

Далее рассмотрим рис. 7, на котором изображены второе и третье звено манипулятора. Начало координат системы совмещено с системой координат второго звена и отстоит от базовой системы на d_1 . Найдем угол φ_3 , зная что:

$$\rho_4 = \sqrt{x_4^1 + y_4^1 + z_4^1}, \text{ где } x_4^1 = x_4^0, y_4^1 = y_4^0, z_4^1 = z_4^0 - d_1$$

Далее:

$$\cos(\varphi_3) = \frac{\sqrt{x_4^1 + y_4^1 + z_4^1} - a_2 - d_4}{2a_2d_4}$$

Тогда:

$$\varphi_3 = \arctan 2\left(\pm \sqrt{1 - \left(\frac{\sqrt{x_4^1 + y_4^1 + z_4^1} - a_2 - d_4}{2a_2d_4}\right)^2}\right)$$

Из рисунка также следует, что

$$\varphi_2 = 90 - \arctan 2\left(\pm \sqrt{1 - \left(\frac{d_4 - a_2 - \sqrt{x_4^1 + y_4^1 + z_4^1}}{2a_2\sqrt{x_4^1 + y_4^1 + z_4^1}}\right)^2}\right)$$

Таким образом, были найдены первые три обобщенные координаты, а значит, ОЗК по положению была решена. Для решения ОЗК по ориентации рассмотрим процесс образования матрицы поворота R_6^0

$$R_6^0 = R_3^0 R_6^3.$$

Матрица поворота R_6^0 дана по условию ОЗК. Из условия о том, что ПЗК уже решена, следует что матрица R_3^0 также известна. Таким образом, матрица поворота:

$$R_6^3 = R_6^0 (R_3^0)^T$$

Матрица R_6^3 выражена в координатах Эйлера, выразим ее в обобщенных координатах:

$$R_6^3 = R_{zyz} = R_{z,\phi} R_{y,\theta} R_{z,\psi} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

Тогда:

$$\varphi_4 = \theta = \arctan 2(\pm\sqrt{1-r_{33}^2}, r_{33});$$

$$\varphi_5 = \phi = \arctan 2(\pm r_{23}, r_{13});$$

$$\varphi_6 = \psi = \arctan 2(\pm r_{32}, r_{31}), \text{ где}$$

$$r_{33} = c_\theta; r_{23} = s_\phi s_\theta; r_{13} = c_\phi s_\theta; r_{32} = s_\theta s_\psi; r_{31} = -s_\theta c_\psi.$$

Заключение

Таким образом, была решена ОЗК промышленного манипулятора, найдены обобщенные координаты углов поворота звеньев манипулятора. Для решения задачи изучен геометрический метод решения, обозначены его основные проблемы и недостатки. В ходе решения ОЗК составлены матрицы однородных преобразований, изучены параметры Деневита – Хартенберга, углы Эйлера. Также составлены структурные схемы промышленного манипулятора, с помощью которых на практике была решена ОЗК.

Библиографический список

1. Борисов О. И., Громов В. С., Пыркин А. А. Методы управления робототехническими приложениями. URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/2094.pdf> (дата обращения: 25.02.2022).
2. Зенкевич С. А., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами: учеб. пособие для вузов. 2-е изд. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 480 с.
3. Хомченко В. Г. Робототехнические системы: учеб. пособие. Омск: ОмГТУ, 2016. 195 с.
4. Юревич Е. И. Управление роботами и робототехническими системами: учеб. пособие. СПб., 2000. 171 с.

УДК 621.865.8

В. А. Косарев

ученик школы № 302

Ю. Г. Васюнина, М. Э. Создательва – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА СБОРОЧНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

С каждым годом наблюдается все больший рост объемов производства, поэтому автоматизация является одним из важнейших факторов повышения производительности и улучшений условий труда, развития производства.

Промышленная робототехника позволила сделать огромный прыжок в автоматизации производств.

Промышленным роботом [1] называют автоматическое перепрограммируемое робототехническое средство, имеющее в своей конструкции исполнительный механизм для выполнения ряда поставленных производственных задач, цикл за циклом, по определенной заданной программе. В сборочном производстве использование таких устройств широко распространено.

Доля процесса производства, которая напрямую связана с задачами взаимной ориентации, позиционирования, а также фиксации детали для получения конечного результата в виде готовой детали, соответствующей нормативно-технической документации, называют технологическим процессом сборки.

Промышленные роботы используются для выполнения разнообразных видов технологических операций и перемещения предметов с минимизацией участия человека, применяются для автоматизации операций на всех видах сборочных работ.

На современном производстве эксплуатируется большое количество сборочных роботизированных комплексов различных по структуре и способу управления [2].

Автоматическими называются РТС, в которых управляющий сигнал вырабатывается без участия оператора. Их отличие состоит в том, что оператор вмешивается в рабочий процесс только в случае аварии или если работа завершена.

РТК, в которых оператор постоянно участвует в процессе, называют биотехническими. Управление таким способом требует значительных человеческих ресурсов, при этом скорость выполнения операции минимальна [3].

Современные робототехнические системы в случае ошибки в процессе привлекут внимание оператора к сбою своих движений, а также попытаются определить причину или степень изменения внешней среды и сообщат о результатах оператору.

Выбор типа управления следует производить с учетом сложности и стоимости производства, необходимости минимизации участия человека, а также с учетом применения дополнительного оборудования (конвейеров, транспортеров, рольганг, систем позиционирования, сенсорных системы, системы технического зрения). Также промышленные сборочные роботы могут быть выбраны исходя из грузоподъемности, маневренности и способу установки.

По грузоподъемности роботы разделяют на:

- Легкие – до 10 кг
- Средние – 11–200 кг
- Тяжелые – 200 кг – 1 т
- Сверхтяжелые – более 1 т.

По маневренности на:

- Стационарные
- Подвижные.

По способу установки на:

- Встроенные
- Подвесные
- Напольные.

Классификация промышленных роботов по типу управления

Вид промышленных роботов	Способ управления	Описание способа управления
Автоматические	Программные роботы	На основе циклической программы, которая заранее вводится в блок памяти
	Адаптивные	Благодаря встроенной системе датчиков и сенсоров могут переключать программу с учетом изменения внешних условий
	Обучаемые	Управляющая программа корректируется в зависимости от хода технологического процесса. Затем робот функционирует с учетом внесенных изменений
	Интеллектуальные	Имеют элементы искусственного интеллекта, анализируют окружающую среду и действуют с учетом полученных сведений
Биотехнические	Манипуляторы или командные роботы	Управляются оператором дистанционно
	Копирующие	Повторяют действия оператора
	Полуавтоматические	Оператор задает движение основному органу, работа сочленений согласуется и корректируется системой управления
Интерактивные	Автоматизированные	Автоматический режим работы чередуется с работой оператора
	Супервизорные	Автоматически выполняют заданный цикл, но переход от одного этапа работы к другому осуществляется через команды оператора
	Диалоговые	Работая в автоматическом режиме, в то же время взаимодействуют с оператором с помощью специального языка (например, голосовые команды)

Промышленный сборочный робот должен быть выбран в зависимости от условий его эксплуатации и от поставленных задач [4].

Промышленные РТС вне зависимости от метода и вида сборки применяются для выполнения различного рода операций, например, транспортных, задач распознавания, позиционирования, контроля, проверки качества продукции.



Рис. 1. Применение промышленного робота на производстве

Промышленные роботы, задействованные в сборочных роботизированных комплексах, должны удовлетворять необходимыми условиями и требованиям, чтобы обеспечивать качественный процесс сборки.

Особенности процесса, потребность в компенсации погрешностей, процессы взаимодействия с деталями образуют некоторые требования к сборочным робототехническим системам [5]:

- наличие цилиндрической прямоугольной системы координат основных движений;
- размеры рабочей зоны, достаточные для размещения вспомогательных устройств, приспособлений и оснастки;
- не менее трех степеней подвижности;
- расширенные возможности стыковки с большим числом единиц вспомогательного оборудования;
- наличие устройства автоматической смены захватных устройств и инструментов;
- возможность перемещения исполнительного узла с требуемыми скоростями и усилием подачи режущего инструмента при необходимости выполнения в процессе сборки операций механической обработки.

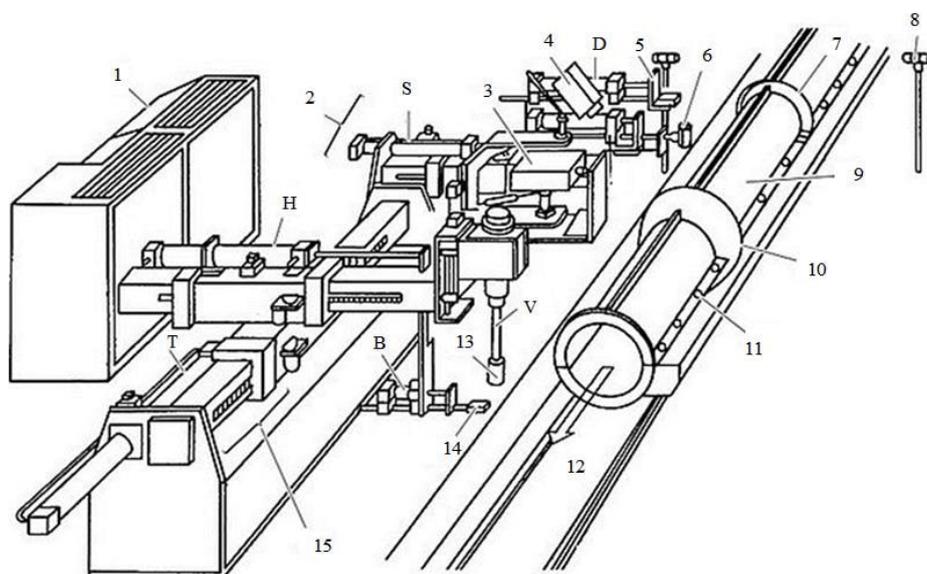


Рис. 2. Компоновка роботизированного сборочного комплекса: 1 – система управления; 2 – система наблюдения; 3 – система обзора (телекамера); 4 – система освещения; 5 – система распознавания обручей; 6 – система измерения диаметра формы; 7 – ребро жесткости; 8 – фотоэлемент; 9 – форма; 10 – обруч; 11 – отверстия под винты; 12 – направление движения форм; 13 – автоматическая отвертка; 14 – датчики касания; 15 – роботе гидроприводом; А, В, I), Н, Б, Т, У – оси перемещения рабочих органов роботов

Заключение

Рост процента производств, оснащенных методами и средствами автоматизации показывает, что робототехника является ключевой формой развития и удовлетворения потребностям современного производства.

Современные промышленные роботы повышают эффективность огромного количества факторов, влияющих на показатели производства, таких как качество и количество продукции, выпускаемой на предприятии, минимизация участия человека, а иногда и полная заменяет оператора на монотонных и тяжелых, опасных работах, помогают сэкономить материалы, финансы, а также затрачиваемую энергию, повышает условия труда.

Библиографический список

1. Ткачева О. О. Понятие и тенденции развития промышленных роботов // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. № 5-3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ponyatie-i-tendentsii-razvitiya-promyshlennyh-robotov> (дата обращения: 25.03.2022).

2. *Коришонков С. Н.* Особенности разработки технологических процессов сборки // Вестник науки и образования. 2019. № 4-2 (58). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-razrabotki-tehnologicheskikh-protsessov-sborgki> (дата обращения: 25.03.2022).
3. *Кузнецов Д. А., Чернышев М. А., Ротарь Д. Ю.* Классификация промышленных роботов // Новое слово в науке и практике: гипотезы и апробация результатов исследований. 2017. С. 75–80.
4. *Ксенофонтова А. А.* Классификация промышленных роботов и алгоритм их выбора для работы в условиях гибких производственных систем // Россия молодая. 2015. С. 214–214.
5. *Мамонова Т. Е.* Управление робототехническим сборочным комплексом // Наука Красноярья. 2015. №. 2 (19). С. 100–116.

УДК 004.89

Н. С. Красников

студент кафедры технологий защиты информации

Т. Н. Елина – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ВЕСОВЫХ ТОВАРОВ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Введение

В сфере ритейла все большую популярность набирают кассы самообслуживания. Это удобный способ оплаты продуктов, где контакты с обслуживающим персоналом сведены до минимума. Но именно с тем фактом, что покупатель выполняет оплату без контроля, связан наибольший недостаток касс самообслуживания: возможность обмана в случае оплаты через кассу самообслуживания выше, чем при оплате через кассира. Особенно остро эта проблема возникает при оплате фруктов и овощей. Ничто не мешает покупателю взвесить товар так, чтобы вес при оплате был меньше фактического, или же взвесить один товар по цене другого. С решением этой проблемы может помочь информационная система на основе нейронной сети, с помощью которой возможно определять тип и приблизительный вес товара, предоставленного к оплате.

Структура информационной системы

Структура предлагаемой информационной системы показана на рис. 1.

Состав структур информационной системы

Облачное хранилище:

- Модель нейронной сети
- Датасет.

Выделенный сервер:

- База данных доступа к хранилищу, моделей и изображений
- Модель нейронной сети
- Датасет для дообучения.

Устройство сканирования:

- Модель нейронной сети.

В облачном хранилище находится обученная модель, используемая для распознавания фруктов и овощей, а также датасет, использовавшийся для обучения модели. Подавляющая часть изображений, входящих в состав датасета, получена из глобальной сети, что связано с особенностью обучения нейронной сети, основанной на модели обучения без учителя. В датасет также входят размеченные изображения, полученные специально для реализации поставленной задачи.

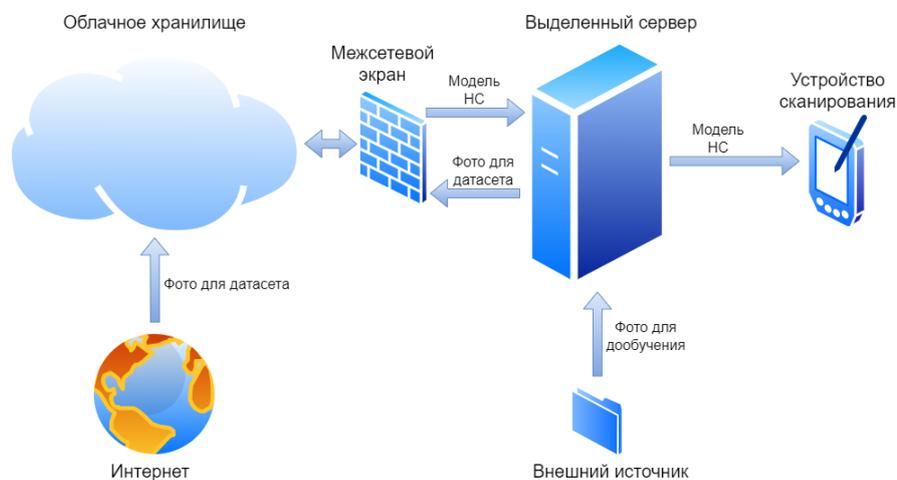


Рис. 1. Схематичная модель предлагаемой информационной системы

На выделенном сервере находится обученная модель, используемая для распознавания фруктов и овощей, база данных доступа к хранилищу, моделей и изображений и датасет для дообучения. В базе данных расположена ссылка на модель, находящуюся в облачном хранилище, данные доступа к облачному хранилищу: логины и пароли, а также ссылки на изображения, собранные для поставленной задачи, находящиеся в облачном хранилище.

Реализована возможность дополнения изображений в облачном хранилище для дообучения используемой модели, так как в ассортименте любого ритейлера могут появиться новые позиции фруктов и овощей, распознавание которых также необходимо. Эти изображения поступают на сервер из внешнего источника, в качестве которого выступают сотрудники, за которыми закреплена соответствующая роль.

На устройстве сканирования находится обученная модель для распознавания фруктов и овощей. Она поступает на устройство из выделенного сервера, соответственно, ее возможности могут дополняться.

Модель нейронной сети

В качестве модели нейронной сети предлагается сеть, основанная на самообучении [1]. При таком подходе необходимо меньшее число размеченных данных каждого класса, чем при использовании нейронной сети, основанной на обучении с учителем [2], но в то же время требуется огромное количество изображений всех классов, которые предстоит распознавать. Время, затраченное на сбор таких изображений, меньше, чем время, которое было бы затрачено на ручную разметку данных, необходимых для качественного обучения сети на основе обучения с учителем. Уменьшение количества размеченных данных существенно упростит поддержание актуального состояния информационной системы.

При самообучении процесс тренировки нейронной сети разделяется на два основных этапа: создание модели, основанной на самообучении, когда для тренировки используется большое количество неразмеченных данных, и дополнение модели последними слоями, предназначенными для достижения поставленной задачи, в этом случае – распознавания различных сортов фруктов и овощей.

На рис. 2 показана точность распознавания для 6 классов: 2 сортов яблок, 2 сорта груш и 2 сорта персиков – в зависимости от размера тренировочной выборки каждого класса. Видно, что для хорошей точности в данном случае необходимо около 500 размеченных изображений каждого класса. Таким образом, необходимо 3000 размеченных изображений для достижения приемлемой точности распознавания.

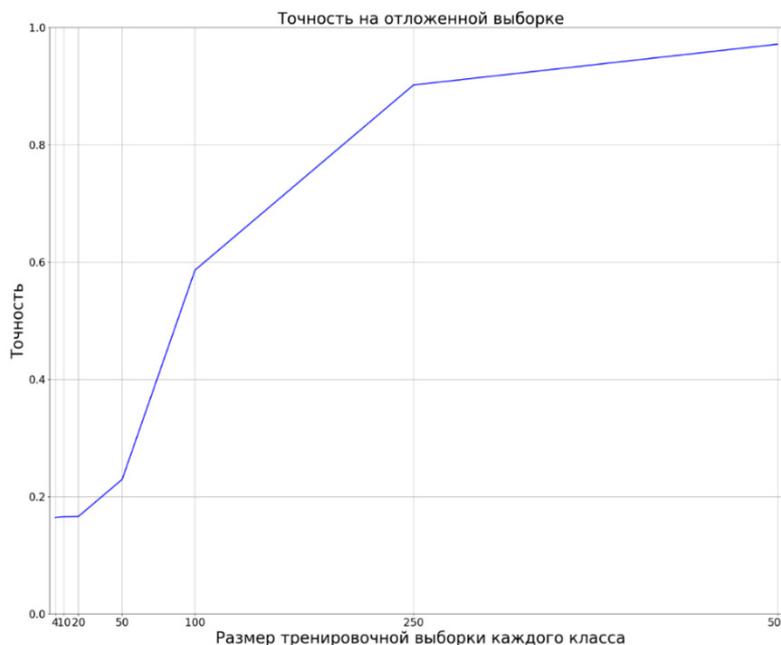


Рис. 2. График зависимости точности классификации от размера тренировочной выборки каждого класса

Заключение

В работе была продемонстрирована информационная система для распознавания весовых товаров в сфере ритейла на основе нейронной сети и график зависимости точности классификации от размера тренировочной выборки каждого класса.

Разработанная модель может выступать в качестве основы для реализации распознавания весовых товаров в сфере ритейла.

В дальнейшем необходимо выявить, как использование модели, основанной на обучении без учителя, повлияет на точность распознавания весовых продуктов.

Библиографический список

1. Nilesh Vijayrania Self-Supervised Learning Methods for Computer Vision. URL: <https://towardsdatascience.com/self-supervised-learning-methods-for-computer-vision-c25ec10a91bd> (дата обращения: 12.03.2022).
2. IBM Cloud Education Supervised Learning. URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/supervised-learning> (дата обращения: 12.03.2022).

УДК 621.315

Ю. П. Кузьменко

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Кузьменко – старший преподаватель кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УСТАНОВКИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Введение

В настоящее время образовательная деятельность все чаще рассматривается как технологический процесс, в котором освещенность помещений для обучения играет принципиально важную роль, поскольку обучающиеся в процессе образовательной деятельности 80 % информации получают посредством зрения.

Для человеческого глаза самым лучшим светом является солнечный свет, поэтому учеными велись поиски технологий для того, чтобы максимально приблизить качество искусственного освещения к естественному, на данный момент одним из лучших решений являются светодиодные источники света, так как они обладают хорошими технико-экономическими качествами, при этом обеспечивая качественный уровень освещения, необходимый для учебного процесса.

Светодиодные источники света имеют отличные возможности стать основным источником света во всех образовательных учреждениях, но, как и у любой другой технологии, у светодиодных источников имеются свои минусы и свои перспективы, о которых в данной статье и пойдет речь.

Требования, предъявляемые к освещению в образовательных учреждениях

В школах и иных образовательных учреждениях предъявляются достаточно строгие и обширные к качеству искусственного освещения требования, так как оно должно быть безопасным и комфортным для обучающихся, способствовать созданию оптимальной визуальной среды, которая помогает концентрации в процессе учебы. Основным документом, регулирующим качество освещения в образовательных учреждениях, является СанПиН 2.4.2.2821-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных организациях». В котором обозначен список требований к искусственному освещению: не допускается смешивать различные источники света между собой, а также указаны нормы освещенности рабочего места [1].

Все обозначенные требования в образовательных учреждениях должны выполняться для обеспечения безопасного образовательного процесса, но в контексте текущей ситуации в образовательных учреждениях одним из ключевых требований является пункт 7.2.9 «...своевременно проводится замена вышедших из строя источников света». Большое количество школ, построенных в последнее десятилетие, спроектированы с учетом количества обучающихся в них человек от 1200, что означает, здание школы выходит достаточно большим. Например, здание школьного отделения МОБУ «СОШ Муринский ЦО №1» занимает площадь около 15 000 м².

В таких образовательных учреждениях существует огромное количество люминесцентных светильников, которые имеют большую вероятность отказа. Следовательно, требуется частая замена, что влечет дополнительные траты денежных средств, которых можно было бы избежать при определенных обстоятельствах.

Проблемы установки и эксплуатации светодиодного освещения в образовательных учреждениях

Светодиодное освещение при своей работе и эксплуатации обладает некоторыми проблемами и недостатками, какие-то вызывают лишь неудобство у обслуживающего эти светильники персонала, другие создают материальные затраты на их устранение.

Качество электроэнергии в системе электроснабжения со светодиодными осветительными устройствами

Светодиодное освещение – одна из причин значительного ухудшения качества электрической энергии.

Появление токов несинусоидальной формы является одной из основных причин ухудшения качества электроэнергии. Появление высших гармоник тока и напряжения негативно влияет на работу электрооборудования, устройств релейной защиты, а также является одной из причин падения качества информационных сетей, увеличивает наличие повышенных номиналов токов в нулевом проводнике, что способствует более быстрому процессу потерь своих качеств у изоляции проводников [2].

В последние годы отмечается значительное ухудшение качества электрической энергии в сетях потребителей, не связанных с производством, таких как торговые комплексы, офисные помещения, жилые постройки, образовательные учреждения, сети как наружного освещения, так и фасадов зданий. Данная проблема связана во многом с быстрорастущим количеством применения светодиодного освещения во всех возможных типах электроустановок.

Также существует проблема, заключающаяся в желании у производителя сэкономить на создании осветительного оборудования, для этого используются материалы низкого качества, что в общем оказывает негативный эффект на развитие компаний с точки зрения энергоэффективности, а также приводит к серьезному падению характеристик конечного изделия [3].

Высшие гармоники тока и напряжения влияют на погрешности приборов учета электрической энергии. При эксплуатации реального оборудования важное значение увеличение ошибки в работе приборов учета как активной, так и реактивной энергии. Данная ошибка существенно влияет на учет затраченной электрической энергии, в конечном счете ведет к увеличению затрат ОУ на оплату электрической энергии. Наличие высших гармоник затрудняет и в ряде случаев делает невозможным использование силовых цепей в качестве каналов для передачи информации [4].

Применение импульсных обратных преобразователей широко распространено в светодиодных светильниках. В состав этого преобразователя входит LC-фильтр (например, выпрямитель с емкостным фильтром). Данный тип преобразователей ведет к значительным искажениям формы тока и напряжения, что неизбежно приводит к уменьшению срока службы электрооборудования и к различным сбоям, возникающим при работе конечного потребителя [5].

Качество и удобство эксплуатации светодиодного осветительного оборудования

Светодиодное освещение, которое применяется в большинстве общеобразовательных учреждений, характеризуется весьма низким качеством и удобством эксплуатации, что обусловлено несколькими факторами. На примере вышеуказанного образовательного учреждения освещение помещений коридора организовано как установленные в навесной потолок светодиодные панели, которые при неисправности для замены необходимо отсоединить от питающего кабеля и вынуть из потолка, заменив новой панелью, что значительно усложняет процедуру ремонта.

Также немаловажно отметить, что меняется целиком панель, в отличие от газоразрядных светильников, где необходимо заменить только саму лампу. Замену электронного дросселя в данном контексте можно не рассматривать, поскольку в большинстве газоразрядных светильников дроссель исправно работает в течение 5 лет, за это время лампы будут заменены 60 раз.

Перспективы светодиодного освещения

Основной перспективой для образовательного учреждения в настоящее время стало создание производителями светодиодных источников света, которые посредством простой перекоммутации устанавливаются в корпуса, где ранее устанавливались газоразрядные лампы. Есть несколько преимуществ у светодиодных трубок. Так, например, в большинстве люминесцентных светильниках с электронными дросселями указывается возможность поочередного выхода из строя ламп, то есть по заверениям производителя после перегорания одной лампы три оставшихся должны продолжать функционировать, но на практике либо половина, а что гораздо чаще, целый светильник выходит из строя, в некоторых случаях повреждая дроссель, приходится целиком произвести замену. Светодиодное освещение в данном случае показывает себя согласно

тому, как указано в документации производителя, а происходит это из-за того, что каждая лампа независима друг от друга, поэтому при неисправности даже трех ламп одна оставшаяся продолжит выполнять свою функцию.

Также немаловажен факт утилизации, в скором времени качество светодиодного освещения позволит одной лампе освещать помещения в течение 3–5 лет без необходимости замены. В случае люминесцентных светильников присутствует две статьи утилизации – это сами источники света и корпуса с дросселями. При выходе дросселя из строя заводом-изготовителем не предусмотрена его замена, соответственно, образовательному учреждению необходимо организовать помещение, отвечающее правилам пожарной безопасности, чтобы складировать корпуса с нерабочими дросселями.

Эксплуатационные издержки в случае применения трубок так же меньше, потому что светодиодные источники света примерно в два раза реже выходят из строя, следовательно, необходимо тратить меньше денежных средств на поддержание освещения в работоспособном состоянии. Ко всему вышесказанному так же стоит отметить, что утилизация светодиодного светильника стоит меньше. Так, например, ООО «ЭП «Меркурий» оценивает услугу на утилизацию светодиодного источника света в 22 рубля 80 копеек, стоимость же утилизации люминесцентного светильника составляет 31 рубль 20 копеек, что на 27 % больше [6]. Корпуса светильников утилизации не подлежат, соответственно, их необходимо вывозить как твердые отходы, то же ООО «ЭП «Меркурий» за один корпус с дросселем оценивает в 90 рублей, а в случае светодиодных трубок корпус при правильных внутренних условиях никогда не потребует замены. На примере вышеобозначенного МОБУ «СОШ Муринский ЦО №1» это приблизительно 90 тысяч рублей в год на корпуса и 31 тысяча 200 рублей на лампы при использовании газоразрядного освещения. В случае же светодиодного освещения эта сумма уменьшается примерно в 6 раз, то есть потеря на стоимости самих элементов освещения будет нивелироваться с большим запасом.

Заключение

Технологии постоянно развиваются, внедряются все новые и новые решения. Светодиодное освещение заменит в обозримом будущем люминесцентное, как люминесцентное освещение заменило в свое время полностью лампы накаливания. Замена обеспечит существенную экономию для образовательных учреждений, а также позволит персоналу, обслуживающему электроустановку, в которую входит освещение, производить обслуживание с гораздо большей эффективностью. При этом эксплуатация светодиодного освещения из-за меньшего количества отходов, соответственно, будет улучшать экологическую обстановку в общеобразовательных учреждениях Российской Федерации.

Библиографический список

1. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.4.2.2821-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям и организации обучения в общеобразовательных организациях» с изм. от 22.05.2019.
2. Боярская Н. П., Довгун В. П., Кунгс Я. А. Проблемы компенсации высших гармоник в распределительных сетях агропромышленного комплекса / Красноярский государственный аграрный университет. Красноярск, 2012. 123 с.
3. Фазлиева Я. С., Ахмадеева О. А. Проблемы энергосбережения и энергоэффективности зданий в России // Молодой ученый. 2016. № 7. С. 1020–1022. URL: <https://moluch.ru/archive/111/27864> (дата обращения: 29.01.2022).
4. Степанов В. М., Базыль И. М. Влияние высших гармоник в системах электроснабжения предприятия на потери электрической энергии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2013. № 12–2. С. 27–31.
5. Розанов Ю. К. Силовая электроника: учебник для вузов. 2-е изд., стер. М.: МЭИ, 2009. 632 с.

УДК 621.43.018, 621.313.13

Е. Д. Кучинский, Д. А. Николаев

студенты кафедры электромеханики и робототехники

М. В. Сержантова – кандидат технических наук – научный руководитель**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В АВТОМОБИЛЯХ****Введение**

В статье произведено сравнение коэффициентов полезного действия (КПД) двигателей внутреннего сгорания, использующих в качестве топлива бензин или дизель с электродвигателями и сравнительный анализ КПД силовых установок.

В современных реалиях силовые установки внутреннего сгорания, применяемые в большинстве автомобилей мира, имеют КПД значительно ниже, нежели их конкуренты, использующие электротягу. Более того, двигатели внутреннего сгорания (ДВС) используют невозобновляемые ресурсы в качестве источника питания, оказывают негативное влияние на окружающую среду, имеют значительно меньший ресурс в сравнении с электродвигателями. В условиях быстрорастущего рынка автомобилей, использующих ДВС, применяемые источники питания с каждым днем потребляются все в больших количествах, что в конечном итоге приведет к их полному истощению. Электродвигатели (ЭД) в свою очередь имеют ряд преимуществ перед ДВС: высокий КПД во всех диапазонах работы, значительно более высокий ресурс силовой установки, соответствуют гораздо более высоким экологическим стандартам, значительно ниже уровень шума при работе, более высокая ремонтпригодность, более компактное расположение узлов силовой установки.

ДВС в свою очередь имеют свойство в зависимости от степени износа оказывать более высокое влияние на окружающую среду, нежели их полностью обслуженные образцы. Условно исправные образцы ДВС в ходе эксплуатации могут выделять значительно больше вредных веществ в окружающую среду. Потеря большей части полезной работы не позволяет ДВС передавать одинаково высокие значения крутящего момента во всех режимах эксплуатации. Крупные габариты и масса силовых установок, использующих ДВС, оказывают негативное влияние на динамические характеристики автомобиля и требуют значительно больше пространства в автомобиле, особенно это заметно при сравнении габаритов и массы ДВС и электродвигателя.

Сравнительная характеристика силовых установок***Методика расчета КПД автомобилей, использующих ДВС***

Эффективность работы силового агрегата определяется коэффициентом полезного действия. Наиболее эффективным на данный момент времени считается электрический силовой агрегат, его КПД достигает 90–95 %, а у двигателей внутреннего сгорания он сравнительно низкий имея значения в пределах 20–25 % у бензиновых ДВС и 35–40 % у дизельных ДВС.

КПД двигателя внутреннего сгорания – это значение отношения двух величин: мощности, которая подается на коленчатый вал двигателя, к мощности, получаемой поршнем, за счет давления газов, которые образовались путем воспламенения топлива.

Иными словами, преобразование термической или тепловой энергии, получаемое при сгорании топлива, в механическую и есть КПД ДВС.

КПД бензинового двигателя варьируется от 20 до 25 %. Для расчета реального КПД необходимо учесть потери:

– топливной эффективности: до 25 % потерь КПД появляется в связи с неполным сгоранием топливной смеси;

– тепловые: двигатель в ходе работы передает тепло в многие элементы, такие как радиаторы охлаждения, корпус двигателя, охлаждающая жидкость также часть тепла уходит с выхлопными газами, что влечет еще до 35 % потерь на КПД;

– механические: во всех местах, где присутствует трение, порядка 20 %.

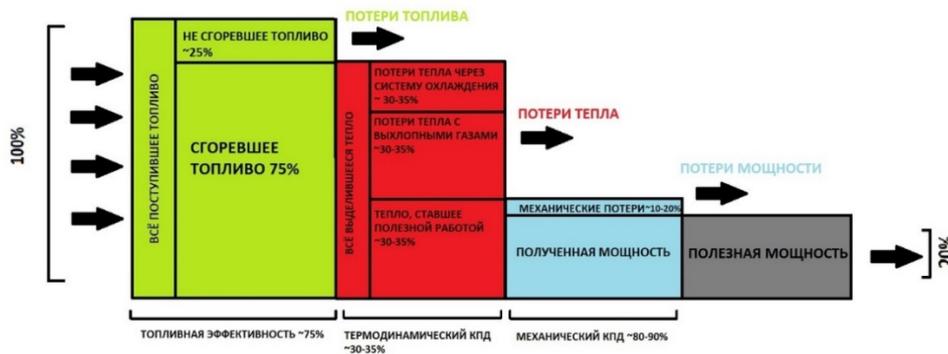


Рис. 1. КПД и структура распределения потерь в ДВС

Таким образом, итоговое КПД ДВС составляет около 20 %. Безусловно, среди бензиновых двигателей, находящихся в серийном производстве, существуют выделяющиеся варианты, у которых этот показатель увеличен до 25 %, однако подобных немного.

Следует провести анализ КПД бензиновой и дизельной силовых установок. Конечно же, эффективнее дизель, поскольку, во-первых, бензиновый двигатель преобразует 25 % энергии в механическую, в свою очередь дизельный преобразует до 40 %; во-вторых, при оснащении дизельного типа двигателей турбонаддувом КПД может достигнуть 50–53 % [1].

Рассмотрим КПД дизельных двигателей. Дизельный двигатель, работая схожим образом, способен выполнять свою задачу гораздо эффективнее. У дизельного ДВС большее сжатие, топливо воспламеняется по другому принципу. Он имеет меньшую рабочую температуру, а значит, происходит экономия на охлаждении, меньшее количество клапанов позволяет снизить потери на трение, отсутствие привычных нам катушек зажигания и свечей позволяют снизить энергетические затраты от генератора. Работает такой ДВС с меньшими оборотами, коленчатый вал двигателя не нуждается в большой скорости вращения – все это делает дизельный вариант более эффективным для получения более высокого КПД.

Методика расчета КПД автомобилей, использующих электродвигатель

Очевидным преимуществом автомобилей, использующих электродвигатели в качестве основного движителя, является высокий показатель КПД этих двигателей. В среднем КПД электродвигателей составляет 80–90 %.

Значительное отличие в КПД у ДВС и ЭД обусловлено меньшими потерями полезной работы. Потери полезной работы в ЭД: потери на перемагничивание, сопротивление обмоток статора, сопротивление обмоток ротора, трение подшипников, потери от нагрузки.

Рабочие характеристики асинхронного двигателя

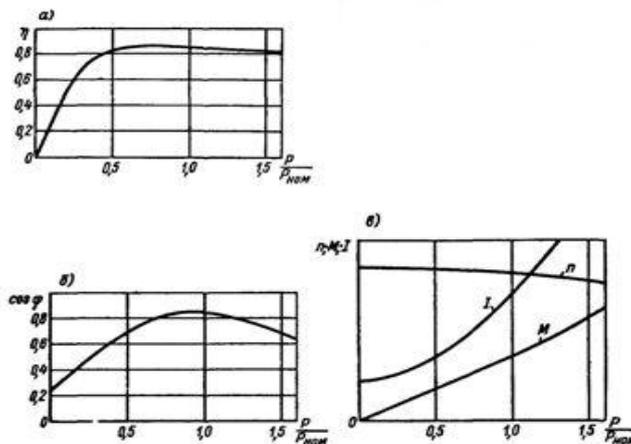


Рис. 2. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Асинхронный электродвигатель конструируется так, чтобы максимум его коэффициента полезного действия имел место быть при нагрузке несколько меньшей номинальной. КПД двигателя достаточно высок и в широком диапазоне нагрузок (рис. 2). Для большинства современных асинхронных двигателей КПД имеет значение 80–90 %, а для мощных двигателей 90–96 % [2].

Выявление наиболее эффективного устройства силовой установки на основе полученных данных

Несмотря на обобщенные показатели КПД ДВС, приведенные ранее, а именно 20–30 % КПД в среднем некоторые ДВС заметно отличаются по этому показателю на фоне общей массы существующих ДВС. Новейшие разработки некоторых ведущих концернов автопроизводителей, направленные на увеличение КПД ДВС, уже способны продемонстрировать значительный прогресс в этой области.

Компания Volkswagen выпустила мотор EA211 1.5 TSI evo, мощность его в двух вариантах форсирования составляет 130 и 150 л. с. соответственно и это при объеме 1,5 литра. В этом моторе инженеры компании решили применить метод раннего закрытия впускного клапана, а также уменьшили диаметр наконечников форсунок впрыска. Благодаря этому удалось увеличить КПД до 45 % [3].

Подразделение AMG, входящее в состав компании Mercedes-Benz, работающее в том числе с Формулой-1, представили мотор объемом 1,6 литра, который способен развить мощность 900 л. с., Mercedes AMG High Performance Powertrains смогли достичь показателя КПД в 50 %. По эффективности этот бензиновый мотор превосходит большую часть уже существующих бензиновых силовых установок [4].

Безусловно, выдающиеся значения КПД бензиновых двигателей в диапазоне 40–50 % выглядят невероятно на фоне существовавших ранее силовых установок, использующих бензин, и силовых установок, использующих дизельное топливо, которые имеют КПД в диапазоне 40–50 %. Однако даже самые эффективные ДВС не способны приблизиться к электродвигателям по показателям КПД. На данный момент компания Tesla Motors может продемонстрировать 94 % КПД на колесах своего автомобиля Tesla Model S. Такое высокое значение достигается благодаря совокупности нескольких факторов: электродвигатель Tesla Model S имеет КПД 95 %, трансмиссия представляет собой одноступенчатый редуктор с КПД 98–99 %, в итоге мы получаем 94 % КПД на колесах электромобиля, в то время как среднестатистический современный автомобиль с ДВС, использующим дизельное топливо, имеет лишь 22–23 % КПД на колесах. Такая большая разница КПД автомобилей с ДВС между силовой установкой и колесами обусловлена внушительными потерями в узлах, соединяющих мотор и колеса – коробка переключения передач, приводы колеса, в некоторых случаях карданный вал и некоторые другие узлы, проходя через которые полезная работа в том числе тратится на механические и тепловые потери [5].

Выводы

Несмотря на явное превосходство электродвигателей по показателям эффективности перед двигателями внутреннего сгорания, доля электромобилей на автомобильном рынке лишь в 2021 году превысила 10 %. Это связано с относительно недавним появлением электрокаров на автомобильном рынке, гораздо меньшим количеством автопроизводителей, выпускающих электромобили и многими другими факторами. Касательно России доля электромобилей на рынке едва приближается к 1 %. Это связано с резко ограниченными поставками импортных электромобилей, полным отсутствием отечественных серийных электромобилей, единичными разработками отечественных электромобилей, производство и реализация которых требует еще очень много времени и инвестиций, а также с общей неподготовленностью страны к пополнению автопарка электромобилями. Автосервисы, способные произвести качественный ремонт и обслуживание электромобиля, располагаются лишь в некоторых крупных городах, в совокупности с необходимостью заказа запчастей из стран-производителей электромобилей или стран, где по какой-либо причине оказываются нужные детали, автовладельцы электромобилей зачастую вынуждены ждать несколько месяцев, пока их электромобиль пройдет техническое обслуживание. Зарядные станции до сих пор являются большой редкостью для

городов нашей страны, несмотря на появление все большего количества общедоступных зарядных станций, многие из них не работают по различным причинам, что в целом составляет сложность зарядки для владельцев электромобилей. Совокупность негативных факторов, влияющих на выбор автовладельцев между электромобилем и автомобилем в классическом виде, принуждает склоняться к выбору автомобилей с ДВС. Темп роста доли электромобилей на общем рынке автомобилей довольно высок: доля электромобилей в 2019 году составляла лишь 2,5 %, в 2020 году 4,2 %, а в 2021 году стремительно превысила 10 % от общего количества автомобилей в мире. Доля электромобилей на рынке растет, все большее число стран инвестирует в их развитие, частные инвесторы также спонсируют возможность появления и расширения числа зарядных станций и со временем, когда использование электромобилей перестанет быть исключением, электромобили смогут вытеснить автомобили с ДВС, если не полностью, то как минимум в большей степени, этому способствует ряд плюсов и практически полное отсутствие минусов электродвигателей.

Библиографический список

1. Матчасть 13. КПД и топливная эффективность. URL: <https://www.drive2.ru/b/607971/> (дата обращения: 25.11.2021).
2. Потери энергии и кпд асинхронных двигателей. URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/maschiny/685-poteri-jenergii-i-kpd-asinkhronnykh.html> (дата обращения: 14.12.2021).
3. Volkswagen представил новый двигатель EA211TSI evo. URL: <https://www.zr.ru/content/news/900612-novyj-dvigatel-vw-1.5-tsi-tsi> (дата обращения: 20.12.2021).
4. Инженеры MERCEDES-AMG разработали ДВС с термическим КПД 50 %. URL: <https://rim3.ru/avtonovosti/novinki/inzhenery-mercedes-amg-razrabotali-dvs-s-termicheskim-kpd-50> (дата обращения: 29.12.2021).
5. Tesla Model S – технические характеристики и особенности. URL: <http://autotesla.ru/autotesla/model-s/tesla-model-s-texnicheskie-xarakteristiki-i-osobennosti.html> (дата обращения: 14.01.2022).

УДК 621.31

П. А. Лукичев

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

И. Н. Железняк – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ ТРАДИЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ И С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ

В некоторых металлах, сплавах, а также сильнолегированных полупроводниках при крайне низких температурах наблюдается следующее явление: ниже определенной (для каждого материала своей) температуры сопротивление материала резко падает до нуля. Это называется сверхпроводимостью. Материалы при таком состоянии обладают особыми физическими свойствами:

- 1) когда вещество находится в сверхпроводящем состоянии, электрических ток в нем может сохраняться в течение длительного времени;
- 2) при снижении температуры ниже критической происходит фазовый переход из нормального состояния в сверхпроводящее, при этом теплоемкость вещества меняется скачком;
- 3) магнитное поле всегда выталкивается из сверхпроводника, по сути, он идеальный диамагнетик.

Электрическое сопротивление несверхпроводящих металлов падает с понижением температуры и при достаточно низких температурах стремится к некоторому пределу. Как изменение температуры, так и предел зависят от материала, его химической чистоты и физического состояния. Зависимость сопротивления от температуры продемонстрирована на рис. 1, а. Чем чище металл и чем меньше его неоднородности, тем меньше остаточное сопротивление [1].

Сверхпроводимость была обнаружена в 1911 году голландским физиком и инженером Камерлинг-Оннесом в ртути. Он стал первым, кто смог создать достаточно мощную холодильную установку, чтобы достичь температуры кипения гелия -4 (He4), которая равна 4,2 К, что является рекордом для того времени. Помещая в криостат различные вещества и измеряя зависимость сопротивления от температуры, Камерлинг-Оннес обнаружил, что у некоторых металлов при определенной температуре сопротивление резко обращается в ноль [2]. Характерные зависимости сопротивления таких материалов от температуры приведены на рис. 1, б. Детали кривой между точками А (начало падения сопротивления) и Б (где сопротивление близко к нулю) зависят от состояния металла и его чистоты. Для очень чистых материалов переходная область крайне мала. Кроме того, критические температуры для сплавов зачастую выше, чем для чистых металлов.

Для того чтобы исключить сопротивление подводящих проводов и зарегистрировать ноль сопротивления с максимально возможной точностью использовалась, так называемая четырехзондовая схема измерения сопротивления, при которой контакты проводов, идущие к вольтметру, располагается непосредственно на образце. Обращение сопротивления в ноль происходит при определенной конечной температуре, называемой критической. Переход в сверхпроводящее состояние является фазовым переходом, при этом кроме сопротивления меняются и другие физические свойства.

В 1933 году Мейснер и Оксенфельд обнаружили, что после охлаждения материала, обладающего сверхпроводящими свойствами ниже критической температуры, магнитное поле начинает выталкиваться из образца. Магнитное поле внутри образца будет равно нулю [3]. Так будет вне зависимости от того, был ли образец переведен в сверхпроводящее состояние без приложения магнитного поля или с ним. Данный эффект был назван эффектом Мейснера, он продемонстрирован на рис. 2, где T – температура материала, T_c – критическая температура.

Эффект Мейснера существует только до определенных величин приложенного к материалу магнитного поля. Начиная с некоторого значения магнитной индукции H_k , называемого критическим магнитным полем, сверхпроводимость в веществе исчезает. Величина H_k зависит от температуры образца. По сути, при увеличении индукции, фазовый переход из нормального состояния в сверхпроводящее происходит при более низкой температуре. Переход является резким только в том случае, если магнитное поле параллельно оси сильно вытянутого сверхпроводящего образца.

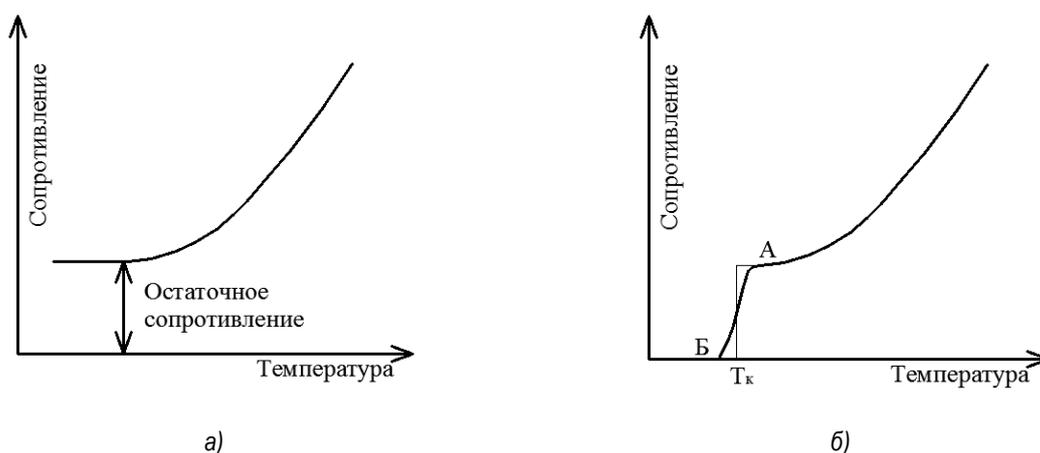


Рис. 1. Зависимость сопротивления металлов от температуры:
 а – металл с конечным остаточным сопротивлением; б – сверхпроводник

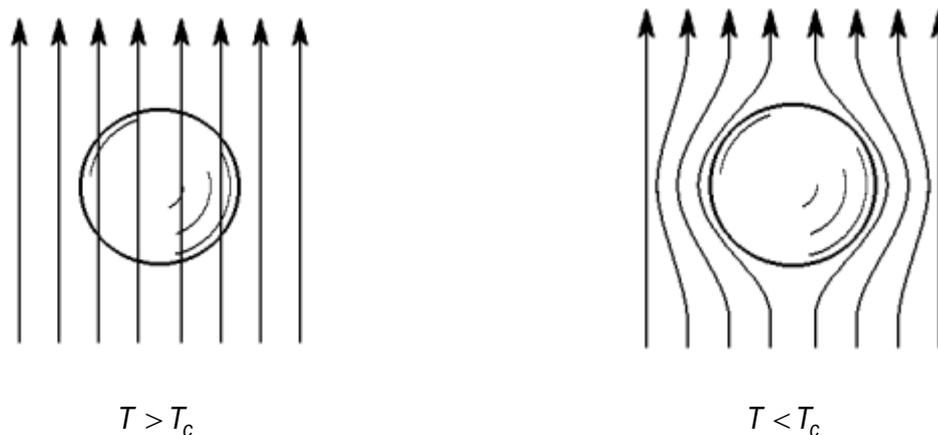


Рис. 2. Эффект Мейснера

Так как протекающий по образцу ток будет создавать магнитное поле, то температура перехода будет зависеть и от величины тока. Причем из-за того, что магнитное поле создается перпендикулярно, переход в сверхпроводящее состояние будет менее резким.

Рассмотрим цилиндр из сверхпроводящего материала. В случае поля, параллельного оси цилиндра, внутри цилиндра $B = 0$, до тех пор, пока внешнее поле не станет больше критического, то есть пока $H < H_K$. При $H > H_K$ сверхпроводник полностью переходит в нормальное состояние. В случае, когда поле перпендикулярно оси цилиндра, при $H > H_K$ образец также будет находиться в нормальном состоянии, как показано на рис. 5, б, то есть не будет оказывать влияния на распределение поля.

Значение зависимости критического поля от температуры описывается формулой:

$$B_K = B_0 \left(1 - \left(\frac{T}{T_K} \right)^2 \right),$$

где B_0 – критическое поле, экстраполированное к абсолютному нулю.

Пока образец находится в сверхпроводящем состоянии, максимальное значение напряженности поля будет достигаться в точке А на поверхности цилиндра (рис. 3, а), при этом она будет равна $H_A = 2H$. Следовательно, образец будет оставаться полностью сверхпроводящим, пока $H_A = 2H < H_K$. В случае, когда $H_K / 2 < H < H_K$, наблюдается частичное разрушение сверхпроводимости.

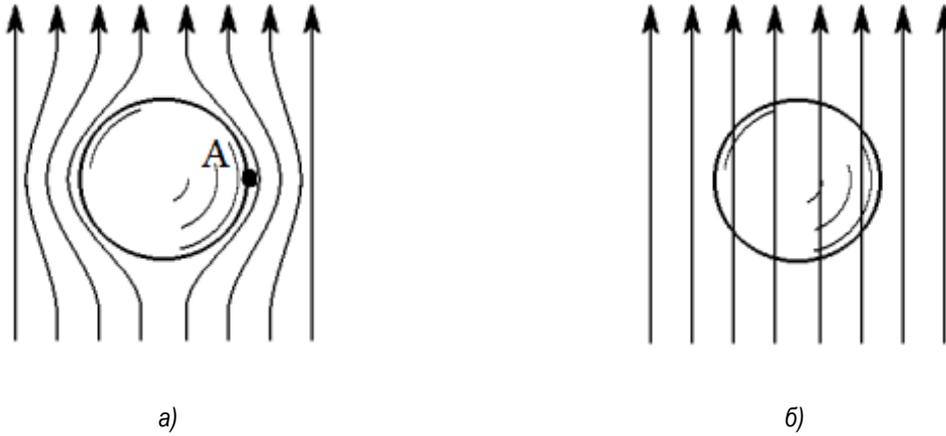


Рис. 3. Распределение магнитного поля: а – для образца, находящегося в сверхпроводящем состоянии; б – в нормальном состоянии

Так как магнитная проницаемость металлов, за исключением ферромагнетиков, не являющихся сверхпроводниками, близка к единице, можно считать, что в нормальном состоянии индукция и напряженность магнитного поля совпадают [1].

Поведение идеального сверхпроводника в параллельном его оси поле показано на рис. 6, а. В реальном материале всегда имеет место некоторый гистерезис, показанный на рис. 4, б. Однако чем чище материал, тем меньше гистерезис. Остаточная индукция $OF = OF'$ может быть не более 1 % от H_K .

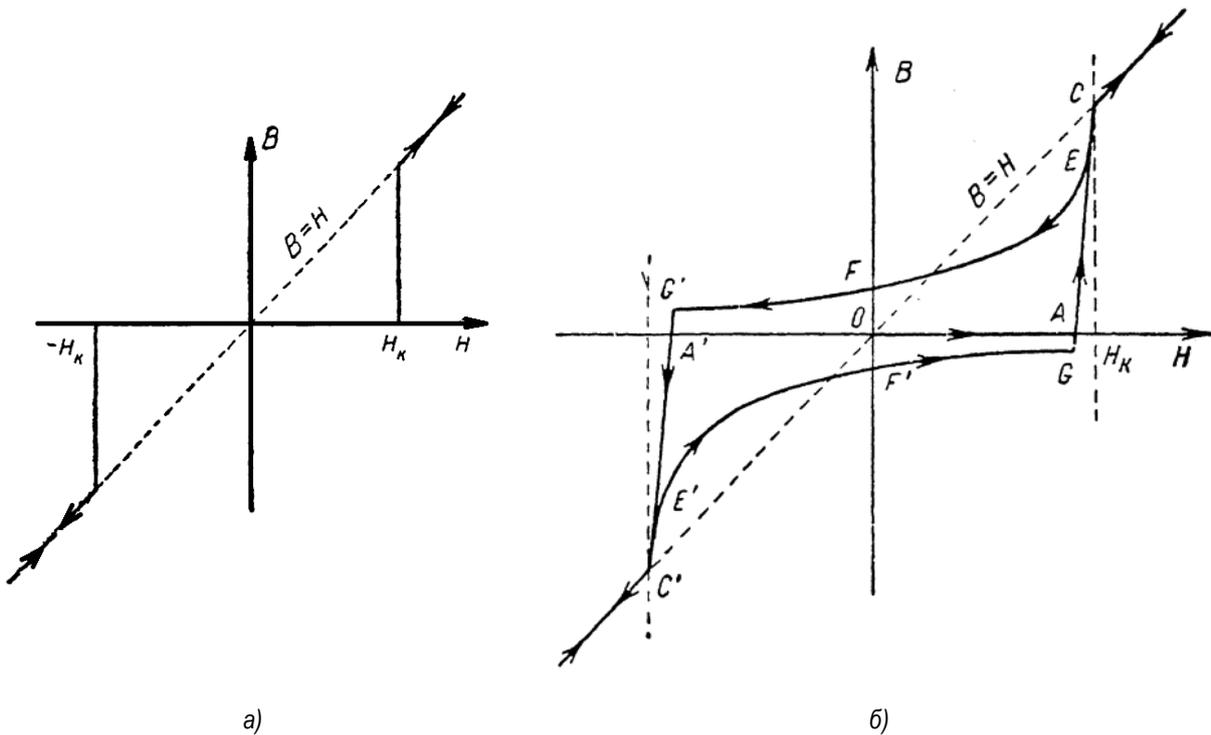


Рис. 4. Зависимость магнитной индукции в материале от напряженности внешнего магнитного поля: а – идеальный сверхпроводник; б – реальный

В случае если уже охлажденный цилиндрический сверхпроводник поместить в продольное магнитное поле, по его поверхности потечет ток J (рис. 5). Этот ток будет течь до того момента, пока не будет снято магнитное поле. По сути, цилиндр является замкнутой катушкой. Магнитное поле внутри отсутствует, так как внешнее поле там уравновешено полем, создаваемым током.

Аналогичная ситуация будет возникать при помещении охлажденного кольца из сверхпроводника в магнитное поле. В случае если кольцо, находящееся в нормальном состоянии, поместить в

магнитное поле, в нем возникнет ток и через некоторое время затухнет. Если после этого кольцо охладить ниже критической температуры и снять поле, то его исчезновение приведет к возникновению в кольце тока. При этом ток будет течь только по поверхности, так как внутри нет магнитного поля.

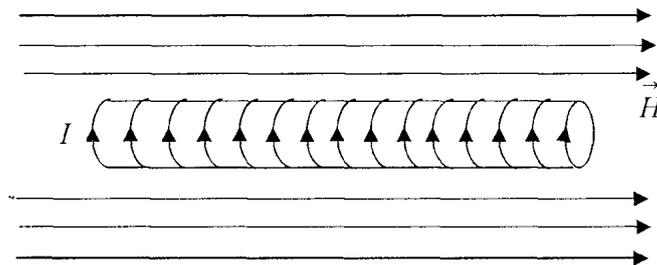


Рис. 5. Сверхпроводник в продольном магнитном поле

В 1962 году Джозефсоном был теоретически предсказан эффект слабой проводимости, заключающийся в возможности протекания сверхпроводящего тока через контакт между двумя сверхпроводниками, разделенными тонким слоем диэлектрика.

В случае если на проводник намотать несколько витков сверхпроводящей проволоки, то, изменяя ток в проводнике, можно управлять сверхпроводимостью проволоки, так как при определенном значении тока создаваемое им магнитное поле переведет проволоку из сверхпроводящего в нормальное состояние.

Сверхпроводник может висеть над кольцом, в котором протекает незатухающий ток. Данное свойство позволяет создавать магнитные подвесы, например, для гироскопов или поездов на магнитной подушке, которые уже доказали свою реализуемость и эффективность.

Создаваемые сверхпроводниками магнитные поля позволяют не использовать сталь в качестве магнитного материала в электрических машинах. При этом такие устройства могут быть компактнее обычных.

Так как магнитное поле внутри сверхпроводника отсутствует, он может использоваться в качестве экрана для защиты оборудования от электромагнитных помех и радиации.

В основном, сверхпроводники имеют две области применения: электрические машины и магнитные системы.

Сверхпроводники находят применение в обмотках селеноидов для получения сильных магнитных полей. Такие поля необходимы, например, для управления плазменными пучками и в ускорителях заряженных частиц, также применяются в аппаратах МРТ. При этом энергию нужно затрачивать только на поддержание температуры обмоток ниже критической.

Так как сверхпроводники позволяют передавать электроэнергию без потерь, в будущем они могут начать применяться в электроэнергетике очень широко. С использованием сверхпроводящих материалов могут изготавливаться силовые кабели, электродвигатели и генераторы, трансформаторы, ограничители тока, накопители энергии. Поскольку сверхпроводники превосходят по плотности тока обычные применяемые материалы, при этом на них нет падения напряжения, то их применение позволяет уменьшить габариты оборудования, повысить эффективность генерации, передачи и распределения электроэнергии. Накопители энергии и ограничители тока позволяют повысить стабильность и надежность работы энергосистем. Так как в сверхпроводящих трансформаторах не будет применяться масло, которое пожароопасно и требует периодической замены с последующей утилизацией, они будут более безопасными и экологичными. Сверхпроводящие кабели позволяют передавать ту же мощность при гораздо меньших габаритах линии, что может быть особенно важно при электроснабжении крупных городов с высокой стоимостью земли.

Сверхпроводниковые генераторы переменного тока бывают двух типов. В первом (гибридные генераторы) только возбуждающая обмотка является сверхпроводниковой, в то время как другая – из обычного материала. Это связано с тем, что сверхпроводник может иметь значительные потери на переменном токе. При такой конструкции по сверхпроводнику протекает постоянный ток возбуждения, создающий сильное магнитное поле. Основной недостаток – необходимость термоизоляции между

частями со значительно различающейся температурой, для чего используется вакуумный барьер. Второй тип – это полностью сверхпроводниковые генераторы, в которых обе обмотки выполняются из сверхпроводника. При такой конструкции охлаждается все устройство (устройство обоих типов машин представлено на рис. 6).

В первых гибридных машинах, созданных к началу 1970-х годов, сверхпроводники использовали только в неподвижной возбуждающей обмотке, в то время как вращающуюся обмотку изготавливали из металлического провода. Мощность этих экспериментальных машин, изготовленных в СССР, США, ФРГ и Японии, составляла от 8 до 30 кВт. Также разрабатывались и генераторы со сверхпроводниковым ротором и медным статором. Эта конструкция и получила наибольшее распространение в дальнейшем. Обмотки в таких генераторах изготавливались из ниобий-титанового кабеля, который является сверхпроводящим при температуре ниже 9,2 К.

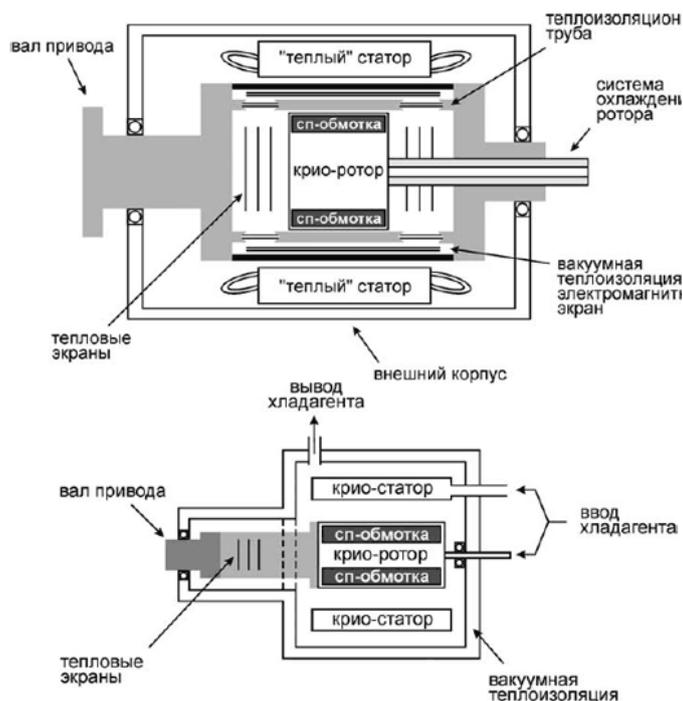


Рис. 6. Гибридный (сверху) и полностью сверхпроводниковый (снизу) генераторы

Первые генераторы с использованием высокотемпературных сверхпроводников появились во второй половине 1990-х годов с появлением проводов на основе BSCCO (висмут-стронций-кальций-медь-оксид). Применение данной технологии позволило поднять рабочую температуру до 20–40 К, снизив тем самым опасность перегрева сверхпроводникового провода, так как теплоемкость материала при этих температурах значительно выше, чем при температуре жидкого гелия [4].

Основная проблема, которую нужно решить для того, чтобы широкое применение сверхпроводников стало возможным, – необходимость работы при низких температурах. Низкой температуры можно достичь, если охладить вещество жидкостью, температура кипения которой менее критична для данного вещества. Для ниобий-титанового кабеля достаточно низкую температуру можно получить при помощи жидкого гелия, который имеет температуру кипения 4,2 К при атмосферном давлении. Но жидкий гелий дорог в производстве, а его применение требует сложного и дорогостоящего оборудования.

Гораздо более удобная и дешевая криогенная жидкость – это жидкий азот. Он кипит при температуре 77 К при атмосферном давлении, что не позволяет применять его для охлаждения большинства сверхпроводящих материалов. Жидкий азот получается прямо из воздуха, в котором его примерно 78 %, при испарении возвращается обратно, что обеспечивает его экологичность и относительную дешевизну. Но для применения жидкого азота для получения сверхпроводимости требуется наличие сверхпроводников, критическая температура которых будет больше 77 К.

В 1986 году была открыта сверхпроводимость при температурах от 30 до 36 К у керамики из лантана, стронция, меди и кислорода (La–Sr–Cu–O) и лантана, бария, меди и кислорода (La–Ba–Cu–O). Причем свойства данных металлооксидов значительно зависели от условий производства – термообработки, окислительной атмосферы и т. д. [5]. Затем было обнаружено, что соединение иттрия, бария, меди и кислорода (Y–Ba–Cu–O) имеет критическую температуру, зависящую от состава: для $YBa_2Cu_3O_{6+z}$ (сокращенно Y123, $0 \leq z \leq 1$) примерно 93 К, для $YBa_2Cu_4O_8$ (Y124) – от 75 до 80 К, для $Y_2Ba_4Cu_7O_{14+w}$ (Y247, $0 \leq w \leq 1$) примерно 90 К [6]. Некоторые материалы уже могут быть переведены в сверхпроводящее состояние испарением азота.

Технологии получения высокотемпературных сверхпроводников развиваются быстро. Некоторые полученные металлокерамики переходят в сверхпроводящее состояние при температуре выше температуры сжижения азота. Однако большинство таких материалов хрупки и нестабильны, потому в технике по-прежнему остаются актуальными сплавы ниобия. Кроме того, существует множество соединений, которые становятся сверхпроводниками при очень высоких давлениях, что приводит к невозможности их коммерческого использования, однако критическая температура для таких веществ может быть гораздо выше.

Библиографический список

1. Гинзбург В. Л. Сверхпроводимость. М., 1946. 202 с.
2. Курин В. В. Физика сверхпроводников. Вводный курс. Нижний Новгород, 2004. 80 с.
3. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела: учеб. пособие для вузов. М., 2001. 336 с.
4. Сверхпроводники в электроэнергетике: бюллетень / НИЦ «Курчатовский институт», 2006.
5. Свистунов В. М., Ревенко Ю. Ф., Таренков В. Ю. Высокотемпературная сверхпроводимость в керамике $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ // Физика твердого тела. 1987. Т. 29.
6. Равновесия сверхпроводниковых фаз в системе иттрий-барий-медь-кислород с расплавами / Г. Ф. Воронин, Е. Б. Рудный, И. А. Успенская и др. // Российский химический журнал. 2001. Т. XLV. № 3.

УДК 004.056.5

Е. А. Марков

студент кафедры технологий защиты информации

Т. Н. Елина – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

ВОПРОСЫ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ В СДЕЛКАХ С НЕДВИЖИМОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Введение

Уже несколько лет в городах растет объем жилищного строительства и доходы населения, а недвижимость становится все более доступной для покупки. Это отражается на развитии рынка: покупке, продаже, обмене, а также аренде жилых помещений, земельных участков. В то же время число людей, предоставляющих эти услуги, также растет [1].

На юридических и физических лиц, оказывающих данный вид услуги, распространяется положение Федерального закона от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных», который представляет собой определенные требования при обработке и защите данных не только работников агентств, но и клиентов, выгодоприобретателей [2].

Как происходит заключение сделки и передача персональных данных?

1. Юридическая экспертиза документов, заключение предварительного договора купли-продажи с определением сроков сделки и порядка ликвидации.
2. Подготовка документов к сделке, в том числе для банка и нотариуса.
3. Подписание договора купли-продажи, расчет в соответствии с условиями договора.
4. Подача заявления в Росреестр на переход права собственности.
5. Получение из Росреестра Выписки из ЕГРН с записью о новом собственнике и договора купли-продажи.

На каждом этапе заключения присутствуют персональные данные каждой из сторон, участвующих в транзакции.

Основная задача этого процесса – защитить абсолютно все данные, чтобы в будущем не произошло непредвиденных обстоятельств и транзакция прошла успешно.

Обработка персональных данных с использованием средств автоматизации

В Федеральном законе № 152-ФЗ указано, что автоматизированная обработка информации – это действия с ПДн, в которых используется вычислительное оборудование: компьютеры, ноутбуки, планшеты, мобильные и т. д. Для АС, как и для неавтоматизированных операций, предусмотрен ряд требований:

- лимитированное время применения (до момента достижения определенной цели);
- запрещение на соединение баз персональных данных, составленных для обработки в различных целях;
- создание условий, в которых становится невыполнимым запрещенный доступ;
- установление отвечающих за безопасность лиц, разработка внутренней нормативной документации;
- обязанность уничтожить ПДн после того, как нужда в них исчезает (нельзя хранить дольше, чем положено);
- известие субъекту, для чего необходимы личные сведения, и прием согласия на последующие действия.

Почему удобнее автоматизировать процесс обработки и защиты персональных данных? Так как подготовка документов сама по себе является разовым действием и, как правило, приводит к тому, что папка с документами может потеряться или испортиться, а такая защита будет неэффективной. Таким образом, наилучший способ заключается в том, чтобы доверить защиту автоматизированной системе, которая гарантирует наличие, доступность и актуальность документов по информационной безопасности.

DOCSHELL – действенная информационная система, которая позволяет автоматически сформировать полный набор документации по ИБ и постоянно удерживать их в актуальном состоянии. Для работы данная система не требует много ресурсов и времени.

Основные модули системы:

- работа с документами (разработка и актуализация, работа с внешней документацией);
- руководство компетенциями (обучение и проверка сотрудников, установление ответственных лиц);
- руководство мероприятиями (моделирование угроз и опасностей и модели нарушителя, фиксация и анализ инцидентов информационной безопасности, календарь событий);
- руководство активами системы (инвентаризация оборудования и программного обеспечения, сбор потребностей в области информационной безопасности).

DOCSHELL обеспечивает автоматический сбор всех необходимых внутренних документов, касающихся организации процессов обработки и защиты персональных данных. Он также предназначен для организации работы шифровальных инструментов в соответствии с требованиями ФСБ России. Обеспечивает управление взаимодействием с лицензиатами ФСБ России и органами защиты криптоинформации в соответствии с законодательством Российской Федерации.

DOCSHELL позволяет определить первоначальный уровень безопасности информационной системы на основе ее характеристик и используемых ею информационных технологий. Данный модуль обеспечивает анализ актуальности угроз информационной безопасности с использованием российской базы данных угроз ФСТЭК, а также формирование моделей потенциальных преступников и угроз.

Этот инструмент предназначен как для обучения, так и для повышения осведомленности пользователей и администраторов. С его помощью можно создавать свои собственные курсы и тесты, а также готовые наборы для защиты персональных данных, работы СКЗИ и информационной безопасности [3].

Обработка персональных данных обязана отвечать назначенным целям. Обработка, не отвечающая целям сбора персональных данных, не допускается. При оказании услуг риелтора цель устанавливает условия соглашения среди риелтора и клиента на оказание последней услуги (продажа объекта, открытый выход к базе данных квартир на продажу, создание договора и т. д.).

Обработка персональных данных сотрудника агентства недвижимости направлена на осуществление профессиональной деятельности и других, связанных с работой целей (выплата заработной платы через банковское учреждение, направление на учебные семинары и т. д.).

Операторы связи и иные лица, имеющие доступ к информации, хранящей персональные данные, должны придерживаться условия конфиденциальности, не распространять эту информацию третьим лицам (передавать неопределенному количеству человек) без согласия лица, чьи персональные данные использованы или не передавать их третьим лицам, если в Федеральном законе не указано иное.

Соответствие организаций, агентств недвижимости и агентов по недвижимости требованиям к персональным данным клиента должно быть обеспечено не только в отношениях между клиентом и подрядчиком (организация недвижимости и брокер), но также между подрядчиками и третьими лицами, содержащими юридические отношения, для заключения сделок, особенно при подготовке сделки, при физической поддержке сайтов, при заключении сделок, государственной регистрации законов, расчетов между сторонами сделок. В случае если продажа жилья осуществляется одной риелторской организацией, брокером, а также при покупке с участием другого. Договор, оформленный в таких случаях, обязательно должен включать распоряжение о конфиденциальности персональных данных клиента, переданных третьим лицам, имеющим право на участие в 3 части статьи 6 Федерального закона «О персональных данных».

Заключение

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что наиболее подходящий процесс защиты персональных данных осуществляется посредством автоматизированной обработки. Следует на это обратить особое внимание, потому что, с одной стороны, это требуется в соответствии с действующим

щим законодательством Российской Федерации, с другой – это единственный способ получить положительные отзывы от партнеров и клиентов, и, наконец, нормальную работу СЗПДн. Это гарантия того, что отсутствуют претензии от Роскомнадзора, ФСТЭК и других контролирующих органов.

По-настоящему хорошая система защиты должна:

- отвечать актуальным правовым нормативам;
- иметь разные уровни, которые будут в равной степени защищены от угроз;
- быть ориентированной на профилактику НСД;
- соответствовать характеристикам используемого ПО и вычислительной техники;
- базироваться на комбинации результативных методов и технологий;
- адаптироваться под вероятные системные изменения;
- предполагать контроль по всем направлениям;
- отвечать потребностям конкретной деятельности;
- функционировать без сбоев до окончания жизненного цикла ИС [4].

Библиографический список

1. Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Роскомнадзор. URL: <https://rkn.gov.ru> (дата обращения: 17.03.2022).
2. КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru> (дата обращения: 17.03.2022).
3. Информационный центр «Региональные системы». URL: <https://www.ec-rs.ru> (дата обращения: 17.03.2022).
4. Центр безопасности данных. URL: <https://data-sec.ru> (дата обращения: 17.03.2022).

УДК 007.5

В. В. Мачикин

студент кафедры управления в технических системах

В. А. Голубков – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОПОР КАЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Подшипник качения

Подшипник качения представляет собой систему, состоящую из таких частей, как внутреннее и внешнее кольца, ролики, шарики и сепаратор, необходимый для разделения этих элементов между собой. Все части этой конструкции, за исключением сепаратора, выполняются из специализированной высокопрочной стали. Сепаратор же выполнен из пластика или мягкого металла.

Стандартные подшипники, как правило, выпускаются в трех сериях: легкая, средняя и тяжелая. Хотя диаметр цапфы, на который устанавливается подшипник, является важной характеристикой, при одинаковом диаметре цапфы внешние габариты самих подшипников могут варьироваться с оглядкой на максимальную допустимую нагрузку на модель.

Помимо этого, так же стоит уделять внимание и классу точности подшипников, ведь класс точности определяет бесшумность работы, отсутствие вибраций и общую долговечность всего узла [1].

Подшипники передают осевые и радиальные нагрузки на раму машины, главным преимуществом подшипников качения является низкий коэффициент трения в сравнении, например, с подшипником скольжения. Подшипники качения, пусть и обладают меньшей точностью вращения, чем подшипники скольжения, они распространены в самых разных областях машиностроения благодаря незначительному расходу смазочных материалов и относительно простому обслуживанию [1], [2]. Вдобавок к этому, благодаря тому, что подшипник качения работает на трение качения, в отличие от подшипника скольжения, у первого уменьшается износ, а закрытые подшипники качения и вовсе практически не испытывают необходимости в обслуживании, таком как, например, замена смазки.

Подшипники качения, используемые в опорах качения, бывают двух видов – шариковые и роликовые. Самым распространенным является шариковый тип подшипника, который является дешевым в изготовлении, а также допускает перекося внутреннего кольца относительно внешнего до $0^{\circ}10'$. Хотя конструкция подразумевает радиальную нагрузку, благодаря желобам на кольцах подшипники могут воспринимать также и осевые нагрузки, направленные в сторону. В условиях одинаковых размеров шариковый подшипник несет меньшие потери в работе, вызванные трением, чем подшипники качения других видов. Роликовый тип в свою очередь обладает большей грузоподъемностью, чем шариковый тип, и воспринимает большие радиальные нагрузки. Такие подшипники в сравнении с шариковыми подшипниками более чувствительны к перекося колец. Подшипники подобного типа применяются в качестве плавающих опор и устанавливаются на валах при высоких требованиях к соосности посадочных мест.

На рис. 1 можно наглядно рассмотреть конструкцию шариковых и роликовых подшипников.



Рис. 1. Шариковый (справа) и роликовый (слева) подшипники

Исследование вибрации опор качения

Как уже было сказано, одной из главных проблем подшипников качения является виброактивность. Вибрация в роторных системах возникает вследствие дефектов, допущенные во время изготовления и сборки узлов подшипников. Возникают такие проблемы, как дисбаланс ротора, а также зазоры между статором и ротором, в которых действуют электромагнитные силы.

Для вентилируемых роторных систем также является актуальной проблема аэродинамической вибрации, в то время как в других системах она, как правило, не больше 5 % от общего уровня вибрации. В обычных системах около 30 % от общего уровня приходится на вибрацию магнитного происхождения [3].

На наличие вибрации в подшипниковых узлах влияет огромное количество факторов. Основными причинами вибрации остаются погрешности при изготовлении подшипниковых узлов: отклонения от круглости дорожек колец подшипников, их перекосы, а также взаимное несоответствие размеров шариков. Погрешности в основном гораздо больше касаются дорожек качения наружных колец, чем внутренних, а преобладающим дефектом таких колец являются трехгранность и овальность, присущая дорожкам качения. По мере увеличения номера гармоники дисперсия амплитуд гармонических составляющих и их среднее значение уменьшаются. Одним из основных дефектов, присущих шарикам подшипников, является разноразмерность [2].

Рассматривая плоскую модель без учета наличия упругих деформаций, появляющихся в местах контактов шариков и колец, исследования показывают, что амплитуды вынуждающих сил, которые определяются отклонением округлости, являются прямо пропорциональными длине волны неровности. Так, вибрация с частотой kf_C вызвана отклонением от круглости неподвижного кольца подшипников. Отклонение от круглости вращающегося кольца вызывает вибрацию $k(f_B - f_C)$, где k – коэффициент формы некруглости; f_B , f_C – частоты вращения сепаратора и ротора соответственно. Сравнивая с некруглостью неподвижного кольца, в большей степени на уровень вибрации в общем влияет некруглость подвижного кольца. А при равных амплитудах гармоник некруглости у колец наружных и внутренних наибольшее влияние оказывает некруглость шариков [4].

Причины вибрации подшипников анализируют также с оценкой вынуждающих сил и частот колебаний. От импульса сил, определяемых массой ротора, зависит влияние на вибрацию неровностей дорожек качения. В ходе такого анализа был выведен результат, из которого следует, что в низкочастотной области вибрация зависит от разностенности и эллипсности колец, а в высокочастотной области вибрация зависит от разноразмерности шариков. Подобный анализ был проведен с учетом того, что и кольца качения, и тела представляются абсолютно жесткими и недеформируемыми. Следовательно, в данном анализе выводы получены с учетом допущений, которые не соответствуют реальным колебаниям в подшипнике [4], [5].

При рассмотрении вибрации подшипников от различных дефектов колец был сделан вывод о том, что дефектами могут быть вызваны смещения колец.

Одно из исследований вибраций представляет профилограммы дорожек колец в виде рядов Фурье, делая вывод о том, что не каждая погрешность в кольце может вызвать вибрацию. Так, в направлении осей вибрация обуславливается гармониками неровностей [6].

Диагностика подшипников качения

Диагностика подшипников качения является крайне важной процедурой, для которой необходимо правильно подобрать метод контроля таких подшипников и средства, при помощи которых достигается необходимый уровень диагностики с использованием этих методов.

Метод сравнения мощности сигнала в двух частотных диапазонах

Данный метод является относительно новым вариантом, который не так давно используют на практике. Его идея заключается в рассмотрении мощностей вибросигналов в двух зафиксированных диапазонах частот, тогда критерием оценки состояния подшипника качения будет являться соотношение этих рассчитанных мощностей. В случае появления тех или иных дефектов неизбежен рост высокочастотной составляющей мощности, который будет прямо пропорционален развитию дефекта подшипника. Чаще всего диапазон расчета мощности находится в районе от 14 до 28 кГц.

У данного метода есть две основные проблемы, усложняющие его реализацию. Причина первой проблемы кроется в методике процесса проведения измерений. Не смотря на то что, как известно специалистам, магнитное крепление датчика в идеальной ситуации, когда магнит установлен на шлифованную поверхность, имеет пропускную способность частот до 7 кГц, в реальных условиях значение мощности высоких частот искажается в разы [7]. На что может повлиять даже такая мелочь, как тонкий слой покрытия. Используя магнитное крепление, измерить частоты выше 5 кГц с удобоваримой точностью не представляется возможным. В конечном итоге данный метод можно применять в тех ситуациях, когда на подшипниках была проведена качественная подготовка мест для установки вибродатчиков. Второй проблемой является практически полное отсутствие приборов, с помощью которых можно было бы широко применять данный метод.

Метод диагностики по спектру огибающей вибросигнала

Данный метод является одним из самых сложных в реализации методов диагностики в вопросах как трудозатратности создания математической модели, так и интерпретации полученных в ходе исследования результатов.

Стоит понимать, что, во-первых, в зависимости от элемента подшипника, на котором появился дефект, будет изменяться частота следования ударов в сигнале. Данная частота взаимосвязана с размерами подшипника и частотой вращения ротора. Во-вторых, каждый удар будет создавать в подшипнике затухающие колебания, которые будут длиться продолжительное количество времени [8].

Обработка вибросигналов производится благодаря полосовому аналоговому или цифровому фильтру, который выделяет достаточно узкий диапазон частот. Проблемой для начинающих специалистов является необходимость выбора нужной полосы частот. В итоге получается сигнал, который принимается цифровым детектором, а уже потом от построенной огибающей сигнала берется обычный спектр.

Состояние подшипника оценивается из соотношения амплитуд подшипниковых гармоник, находящихся в спектре огибающей сигнала. Важно держать во внимании тот факт, что получившийся спектр строится по узкополосной выборке, а не по всему сигналу. Из чего следует, что амплитуды гармоник приводятся в единицах относительной модуляции сигнала, что может затруднить чтение полученных результатов в процессе подведения итогов диагностики.

При наличии дефекта, возникающего на обойме подшипника, можно будет наблюдать соответствующий рост вибрации. В определенный момент в процессе развития дефекта можно наблюдать снижение признаков развития данного дефекта, из-за чего диагностические результаты будут говорить о лучшем состоянии подшипника, в то время как его реальное состояние будет ухудшаться. Это происходит ровно до того момента, пока не восстанавливается соотношение между реальным состоянием дефекта и видимыми признаками этого дефекта в спектре огибающей. Большой проблемой в данном явлении является тот факт, что продолжительность получения таких мнимых результатов может тянуться на протяжении половины всего срока развития дефекта от его появления до выхода подшипника из строя. Причина таких явлений кроется в том, что на начальном этапе развития дефекта вся сила удара приходится на зону соприкосновения тела качения и зоны дефекта. В процессе возрастания этой зоны тело качения проходит зону дефекта, однако сила удара становится меньше в результате того, что ротор опирается на другие два тела качения, которые расположены по двум сторонам дефектной зоны. Из-за того, что они проходят зону дефекта, сила удара уменьшается, порой, в два и даже в три раза. По результатам диагностики это приводит к тому, что система дает положительные данные касательно состояния подшипника.

В силу вышеперечисленных затруднений касательно данного диагностического метода сфера его применения значительно сужается, а основным назначением является контроль качественного состояния самых дорогих и важных подшипников, ведь только в работе с ними имеет место быть целесообразность проведения полного комплекса частого контроля, а также мероприятий по определению норм и порогов состояния. Из-за того, что дефекты подшипников данный метод выявляет на достаточно поздних этапах их развития, а на ранних точность результатов может составлять порядка тридцати процентов, этот метод едва ли можно назвать пригодным для анализа большого количества подшипников.

Метод диагностики по общему уровню вибрации

Данный метод представляет собой максимально простой и распространенный метод как для диагностирования и выявления присутствия дефектов, так и для общей оценки технического состояния того или иного оборудования с учетом общего уровня вибросигнала. Для проведения процесса диагностики в этом случае обслуживающий персонал не испытывает необходимости в наличие специальной вибродиагностической подготовки. Все, что требуется для проведения операции, – это самый обычный виброметр [5].

Такая методика при всей своей простоте подходит для выявления дефектов исключительно в случаях поздней стадии их развития, когда деформированные подшипники подходят к состоянию деградации, вследствие чего и повышается общий уровень вибрации.

Оценка уровня развития дефектов подшипников в данном случае производится по критериям, опирающимся на уровни вибрации, соответствующие согласованным для того или иного механического изделия нормам. Если реальный уровень вибрации будет превалировать над заданной нормой, то подшипник будет сочтен дефектным, а обслуживающий персонал вынужден принять решение о возможной остановке механизма с целью устранения дефектов и замены испорченного подшипника [9].

Данный метод диагностики является достаточно распространенным на практике, несмотря на то, что некоторые специалисты относятся к нему с пренебрежением, вызванным тем, что дефекты выявляются на достаточно позднем этапе, когда до окончательного выхода подшипника из строя остаются считанные месяцы, а то и дни. Но, несмотря на это, данный метод показывает достаточно неплохие результаты, когда используется в уместной ситуации. Например, когда основной целью диагностики является выявление аварийного состояния, которое может быть исправлено без прерывания рабочего процесса предприятия на критический срок, а также в моменты, когда до отправки механизма в профилактический ремонт остается меньше времени, чем до полного выхода из строя дефектного подшипника.

Также данный метод диагностики показывает крайнюю степень эффективности в момент внедрения его в работу предприятия, это достигается благодаря относительно небольшим начальным затратам.

Метод диагностики с использованием ударных импульсов SPM

Полное название данного метода Shock Pulse Method, или метод ударных импульсов. Этот метод подразумевает использование ударных импульсов, исходящий от подшипников, с целью оценки их состояния [10]. Под ударными импульсами подразумеваются испускаемые подшипниками качения ударные волны, являющиеся результатом ударного взаимодействия элементов подшипников, а также изменений уровня давления в их зонах качения. Данные волны имеют зону распространения, выходящую за пределы элементов подшипника и затрагивающую как подшипниковый узел, так и прилегающие к нему детали.

Такой метод был впервые открыт в 1969 году, после чего неоднократно совершенствовался вплоть до возможности оценить состояние смазки подшипника, не подверженного дефектам, что дает предупреждающую возможность заранее предотвратить возникновение дефектов и повреждений дорожек качения при помощи своевременной замены смазывающего элемента, высыхание которого является основной первопричиной, вызывающий дефекты в конструкции подшипников.

Заключение

В результате проведенных исследований было выведено определение подшипника качения, а также изучены методы и технические средства для диагностики вибрации в конструкции подшипников качения, возникающей в результате деформации.

Библиографический список

1. А.с. 1487633 СССР, МКИ2 G 01 M 13/04. Устройство для индивидуальной диагностики узлов трения электроприводов / В. А. Голубков, А. В. Кулаков, А. К. Явленский и др. // Открытия. Изобретения. 1989. № 25. 4 с.

2. А.с. 1620881 СССР, МКИ2 G 01 M 13/04. Устройство для диагностики подшипников качения / В. А. Голубков, А. В. Робертов, Т. Т. Шарафудинов и др. // Открытия. Изобретения. 1991. № 2. 4 с.
3. А.с. 1744561 СССР, МКИ2 G 01 M 13/04. Устройство для диагностики подшипников качения / В. А. Голубков, В. П. Рузанов, Т. Т. Шарафудинов и др. // Открытия. Изобретения. 1992. № 24. 4 с.
4. *Аникеев Г. Н., Сильвестров Э. Б.* Нелинейные колебания ротора с учетом гироскопического эффекта диска // *Машиноведение*. 1971. № 1. С. 3–10.
5. *Атступенас Р. В.* Вопросы динамики прецизионного жесткого ротора в упругих подшипниках качения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Каунас, 1970. 24 с.
6. *Баранов И. А.* Влияние осевой нагрузки на величину вибрации, создаваемой шарикоподшипниками // *Известия вузов. Сер. Приборостроение*. 1967. Т. 10. № 12. С. 63–65.
7. *Баранов И. А.* Влияние перекосов колец на осевую вибрацию радиально-упорных шарикоподшипников // *Подшипниковая промышленность*. 1971. № 3. С. 20–24.
8. *Барков А. В.* Возможности нового поколения систем мониторинга и диагностики // *Металлург*. 1998. № 11. С. 31–33.
9. *Барков А. В.* Диагностирование и прогнозирование состояния подшипников качения по сигналу вибрации // *Судостроение*. 1985. № 3. С. 21–23.
10. *Барков А. В., Баркова Н. А., Азовцев А. Ю.* Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации. СПб., 1997. 101 с.

УДК 681.5.017

М. А. Миронович

ученик СОШ № 253

Д. П. Сотник, Д. Э. Шитов – студенты кафедры управления в технических системах – научные руководители

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ В ЖИЛОМ ПОМЕЩЕНИИ В РАМКАХ СИСТЕМЫ «УМНЫЙ ДОМ»

Постановка задачи

Каждая эпоха имеет свои представления о том, что такое современно, удобно, необходимо, красиво. И вряд ли кому-то сейчас покажется нормальным использовать верблюда вместо автомобиля и разводить костер на кухне для приготовления ужина. Мы с удовольствием пополняем ряды бытовой техникой и приборами, не представляем без них нашей жизни и понимаем, что этот процесс вряд ли пойдет вспять. Это также невероятно, как покинуть современный дом и уйти жить в пещеру, хотя свежего воздуха там больше.

Предлагаемая система является самой передовой технологией в мире по управлению домом. Система «Умный дом» нужна для облегчения управления домашним хозяйством, а также для расширения его возможностей [1]. Обеспечивает управление бытовой техникой и освещением в доме, подключение к системе таких устройства как домофон, телевизор, стиральная машина, камеры наблюдения, кондиционер и т. д. Позволяет вам в любой момент времени из любой точки своего дома и также мира установить связь со своим домом, включить или выключить освещение, настроить температурный режим в доме, следить за домом с помощью системы видеокamer, слышать все, что происходит в доме при помощи микрофонов, устроить видеоконференцию с вашими близкими или коллегами [2]. Или просто удивить своих знакомых самой передовой технологией в мире по управлению домом, которая относится к категории smart house – умный дом.

Теоретические сведения о системе автоматического управления температурой жилого помещения

Рассмотрим систему, состоящую из жилого помещения, нагревательного элемента и термостата. Алгоритм работы представляет собой следующее.

1. Пользователь задает желаемую температуру комнаты на термостате.
2. Термостат постоянно сравнивает нынешнюю температуру комнаты с заданной пользователем и управляет включением/отключением нагревательного элемента.
3. При значении температуры в комнате ниже заданной нагревательный элемент включен.
4. При значении температуры в комнате выше заданной нагревательный элемент отключен.

Для моделирования системы нам необходимо рассмотреть тепловые процессы, происходящие внутри помещения [3].

Начнем с процесса увеличения тепла в помещении.

Будем считать, что температура воздуха непосредственно около нагревателя постоянна и равна $T_{\text{нагреватель}}$, температура в комнате равна $T_{\text{комната}}$. Увеличение тепловой энергии в помещении происходит за счет конвекции нагретого воздуха от нагревателя, теплоемкость воздуха $c_{\text{воздух}}$. Увеличение количества тепла для воздуха у нагревателя массой m нагретый воздух пропорционально разнице температур между зоной непосредственно у нагревательного элемента и жилым помещением

$$Q_{\text{увел.}} = m_{\text{нагрев.воздух}} c_{\text{воздух}} (T_{\text{нагреватель}} - T_{\text{комната}}). \quad (1)$$

Скорость увеличения тепловой энергии исходя из формулы (1) составляет:

$$\frac{dQ_{\text{увел.}}}{dt} = \frac{dm_{\text{нагрев.воздух}}}{dt} c_{\text{воздух}} (T_{\text{нагреватель}} - T_{\text{комната}}). \quad (2)$$

Будем считать, что воздух в комнате стабильно перемешивается, равномерно распределяясь от нагревательного элемента по всей комнате. Тогда постоянное количество воздуха, $M_{нагрев.воздух}$, проходит через нагревательный элемент за единицу времени. Исходя из этого, можно упростить выражение (2)

$$\frac{dQ_{увел.}}{dt} = M_{нагрев.воздух} c_{воздух} (T_{нагреватель} - T_{комната}). \quad (3)$$

Для корректного моделирования тепловых процессов также необходимо рассмотреть потерю тепловой энергии через ограждающие конструкции помещения (стены и окна).

Потери тепловой энергии происходят за счет теплопроводности стен и окон, и пропорциональны разнице температур между температурой внутри помещения и снаружи его:

$$Q_{потеря} = \frac{kA(T_{комната} - T_{снаружи})t}{D}, \quad (4)$$

где k – теплопроводность ограждающие конструкции; A – площадь ограждающей конструкции; D – толщина ограждающей конструкции.

Скорость потери тепловой энергии исходя из формулы (4):

$$\frac{dQ_{потеря}}{dt} = \frac{kA(T_{комната} - T_{снаружи})}{D}. \quad (5)$$

Заменим kA/D на $1/R$, где R – это тепловое сопротивление, тем самым упростим выражение (5):

$$\frac{dQ_{потеря}}{dt} = \frac{(T_{комната} - T_{снаружи})}{R}. \quad (6)$$

В итоге определим общую скорость изменения температуры в помещении, вычитая скорость потери из скорости увеличения тепловой энергии:

$$\frac{dT_{комната}}{dt} = \frac{1}{m_{комната.воздух} c_{воздух}} \left(\frac{dQ_{увел.}}{dt} - \frac{dQ_{потеря}}{dt} \right), \quad (7)$$

где $m_{комната.воздух}$ – масса воздуха в комнате.

Параметры относящиеся к размеру комнаты и свойствам ограждающих сооружений были взяты в пределах адекватных значений для демонстрации самого процесса моделирования.

Создание системы автоматического управления температурой жилого помещения

Состав всей системы управления температурой показан на рис. 1. Всю систему можно разделить на 3 подсистемы: «Комната», «Термостат», «Нагреватель». Рассмотрим их отдельно [4].

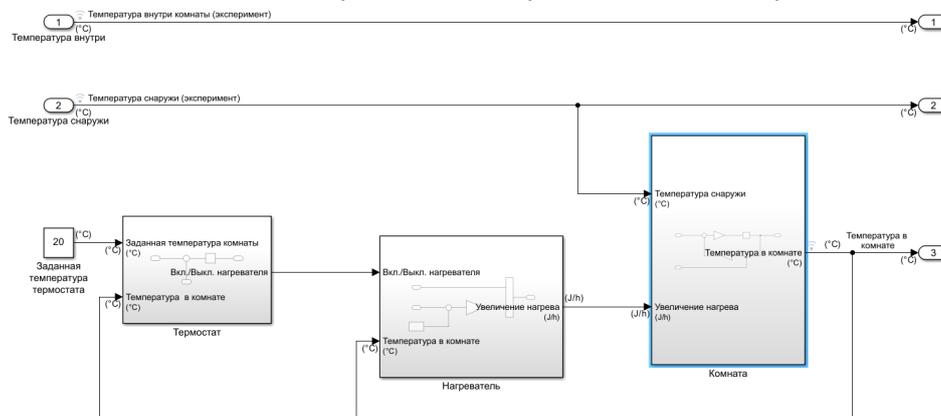


Рис. 1. Система управления температурой в помещении

Подсистема «Нагреватель» получает информацию о текущей температуре в комнате, а также сигнал вкл./выкл. от термостата. Здесь же происходит расчет увеличения тепловой энергии от нагревательного элемента по формуле (3). Состав подсистемы «Нагреватель» показан на рис. 2.

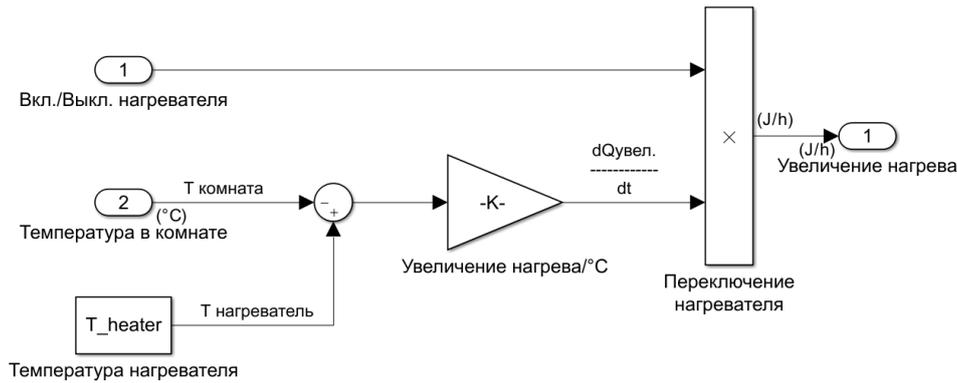


Рис. 2. Подсистема «Нагреватель»

Подсистема «Термостат» (рис. 3) получает на входе заданную температуру и текущую температуру в помещении. Если значение текущей температуры ниже заданной из подсистемы выходит сигнал 1 на включение нагревателя, если же текущая температура выше – посылается 0. Также там установлена задержка, чтобы избежать постоянного переключения нагревателя из состояния «вкл.» в состояние «выкл.».

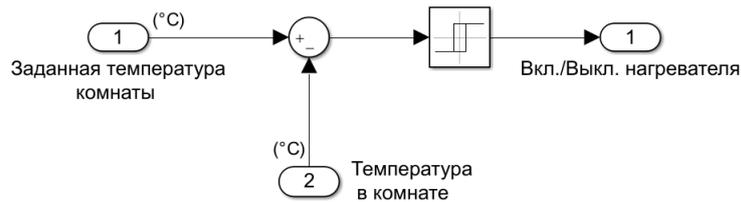


Рис. 3. Подсистема «Термостат»

Подсистема «Комната» (рис. 4) получает информацию о температуре снаружи и увеличение температуры от нагревателя, если оно есть. Далее в подсистеме происходят расчеты по формуле (7), после чего на выходе мы получаем текущую температуру в комнате.

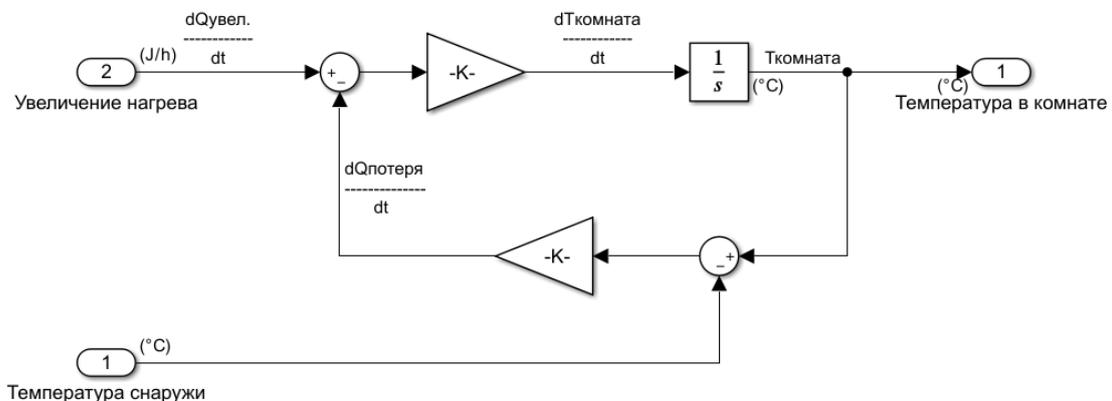


Рис. 4. Подсистема «Комната»

Симуляция системы автоматического управления температурой жилого помещения

Имеются данные об изменении температуры снаружи помещения и внутри него в течение 24 часов, они графически изображены на рис. 5.

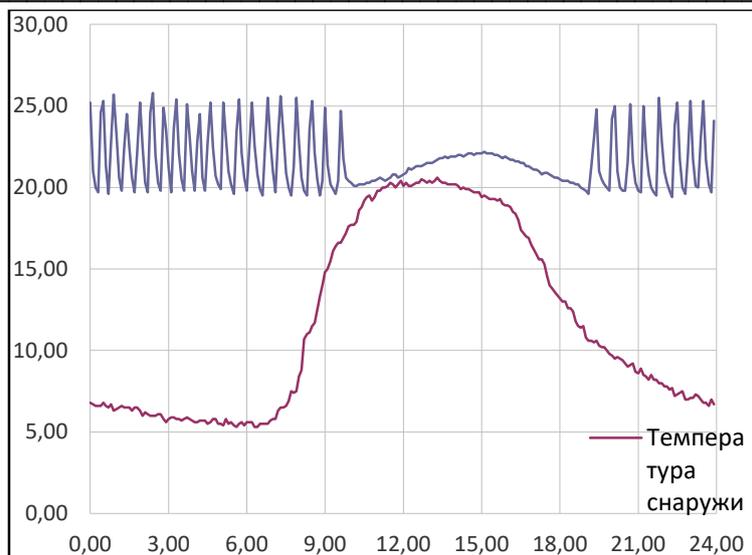


Рис. 5. Данные об изменении температуры в течение 24 часов

Проведем симуляцию нашей системы управления, используя имеющиеся данные о температуре. Сигналы полученные при запуске симуляции объединим и проанализируем (рис. 6).

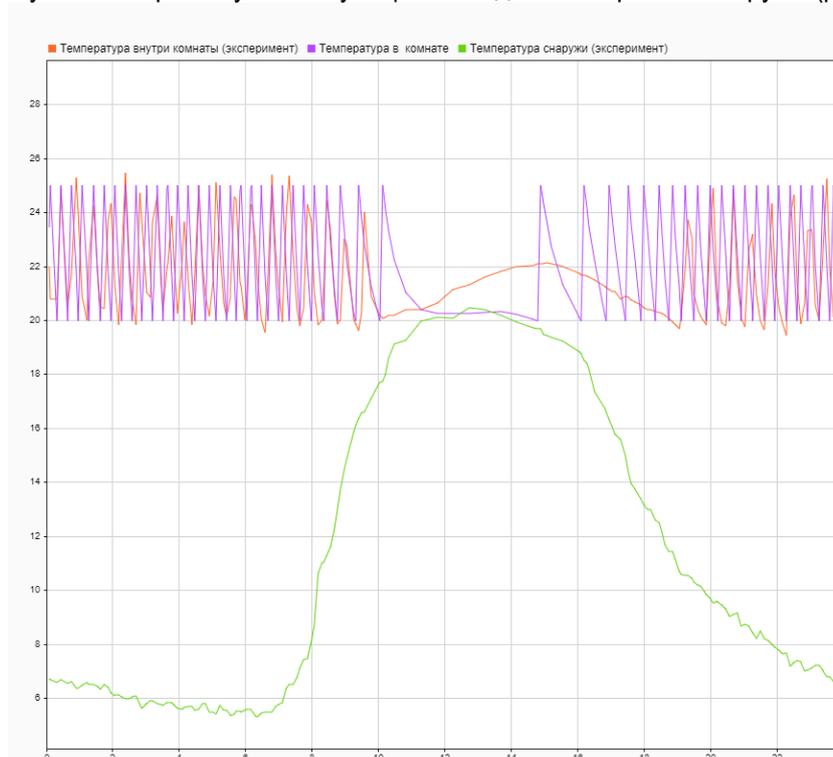


Рис. 6. Итоговые данные симуляции системы автоматического управления температурой в жилом помещении

Исходя из полученных данных можно удостовериться в правильности работы алгоритма, что особо заметно при превышении наружной температуры установленного на термостате значения. На рис. 6 видно, что примерно в 13:00 температура снаружи была чуть выше 20 градусов, из-за чего нагреватель не включался, пока температура не упала ниже.

Заключение

В процессе написания работы были решены следующие задачи:

- 1) получены начальные знания о системе «умный дом»;

2) изучены принципы работе в среде MATLAB Simulink;

3) построена модель управления термостатом.

Данная работа дала понимание процессов, происходящих при создании системы управления, и показала, что автоматизация бытовых процессов является перспективной и востребованной частью прогресса.

Библиографический список

1. Бем Е. Умный дом: что это такое, зачем нужен и как работает. URL: <https://avaho.ru/articles/ns/umnyy-dom-chto-eto-takoe-zachem-nuzhen-i-kak-rabotaet-2332.html> (дата обращения: 25.03.2022).

2. Обзор технических новинок для «Умного дома». URL: <https://smarthomegadget.ru> (дата обращения: 25.03.2022).

3. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Термодинамика и молекулярная физика. М.: Наука, 1990. Т. 2. 591 с.

4. Дядик В. Ф., Байдали С. А., Криницын Н. С. Теория автоматического управления: учеб. пособие. Томск, 2011.

УДК 004.032.26

А. А. Палесика

ученица 11 класса ГБОУ № 219

П. С. Козырь – магистр кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В РАСПОЗНАВАНИИ ОБЪЕКТОВ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Введение

В настоящее время актуальной задачей является создание приложений компьютерного зрения. Наиболее высокой точностью распознавания объектов на изображении характеризуются системы, основанные на нейронных сетях.

Искусственная нейронная сеть – это упрощенная модель биологической нейронной сети, представляющая собой совокупность искусственных нейронов, взаимодействующих между собой. На данный момент нейронные сети используются в многочисленных областях машинного обучения и решают проблемы различной сложности. Основные задачи нейронных сетей – это классификация, кластеризация, восстановление регрессии, понижение размерности данных, идентификация, прогнозирование, аппроксимация, извлечение знаний, построение ранговых зависимостей, обнаружение аномалий. Нейронные сети являются одной из подобластей машинного обучения. Машинное обучение – это класс методов искусственного интеллекта, в основе которого находится не прямое решение задачи, а обучение за счет использования решений огромного количества схожих задач.

Целью использования нейронных сетей является частичная или полная автоматизация решения сложных профессиональных задач в самых разных сферах. Нейронные сети находят свое применение в таких приложениях как распознавание образов, жестов, речи, рукописного ввода, техническая и медицинская диагностика, обнаружение спама и мошенничества, прогнозирование временных рядов, биоинформатика и др.

Распознавание объектов

Анализ изображений – одна из наиболее востребованных областей применения нейронных сетей. Хотя генерация изображений, их обработка и анализ для людей не представляют труда, извлечение полезной информации для компьютеров все еще является сложной и составной задачей. Нейронные сети являются рекордсменами среди методов машинного обучения в задаче анализа изображений и распознавания объектов. Наибольшего успеха в машинном зрении достигли различные вариации сверточных нейронных сетей [1].

Сверточная нейронная сеть (СНС) – это специальная архитектура СНС, основанная на имитации системы человеческого зрения. Каждая сверточная нейронная сеть состоит из одного или нескольких сверточных слоев – программного компонента, извлекающего значимые значения из входного изображения. В основе каждого сверточного слоя находятся фильтры, задача которых состоит в распознавании определенных характеристик изображения (например, прямых линий). Фильтр – это коллекция кернелов. Кернел – это обычная матрица чисел, называемых весами, которые настраиваются для реализации поиска на изображениях определенных характеристик. Фильтр скользит по изображению, регистрирует взвешенную сумму значений пикселей в разных местах и определяет, присутствует ли некоторая искомая характеристика в конкретной его части. Процесс фильтрации представлен на рис. 1. Каждый фильтр имеет разные значения и извлекает разные функции из входного изображения. Для получения ответа такого рода совершается операция свертки, которая является суммой произведений элементов фильтра и матрицы входных сигналов.

При наложении друг на друга сверточные слои могут обнаруживать иерархию визуальных паттернов. Например, нижние слои будут создавать карты объектов для вертикальных и горизонтальных краев, углов и других простых шаблонов. Следующие слои могут обнаруживать более сложные узоры, такие как сетки и круги. По мере продвижения вглубь сети слои будут обнаруживать сложные объекты, такие как автомобили, дома, деревья и люди [2].

В настоящее время СНС в своем исходном виде практически не используются. Были разработаны различные модификации СНС, в основе которых находятся сверточные слои и которые обладают значительно более высокой точностью, чем простые СНС. Примерами таких СНС являются региональные сверточные нейронные сети (R-CNN), быстрый R-CNN (Fast R-CNN), более быстрый R-CNN (Faster R-CNN), гистограмма направленных градиентов (Histogram of Oriented Gradients, HOG), Single Shot Detector (SSD), Spatial Pyramid Pooling (SPP-net), YOLO.

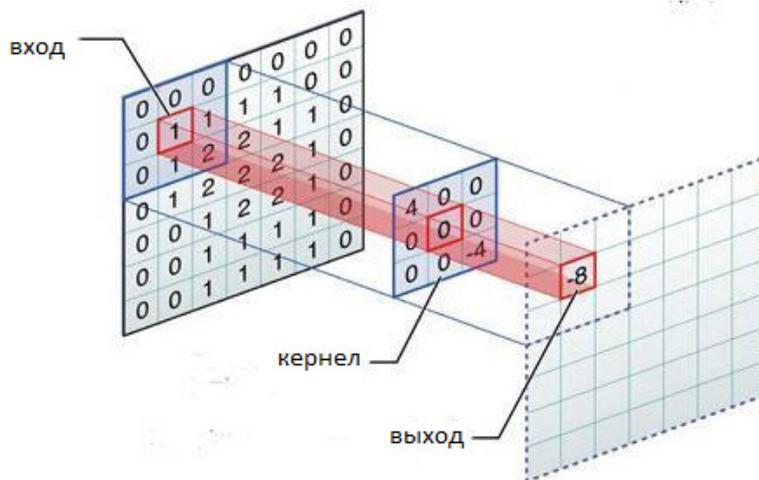


Рис. 1. Операция свертки

Региональные сверточные нейронные сети (R-CNN)

Входное изображение, переданное модели R-CNN, проходит через механизм, называемый выборочным поиском, для извлечения предложений регионов. Область предложения представлена границами прямоугольника. В зависимости от сценария может быть более 2000 предложений регионов. Эта интересующая область проходит через CNN для получения выходных характеристик. Затем эти выходные объекты классифицируются с помощью метода опорных векторов (support vector machine, SVM) для классификации объектов, представленных в интересующей области [2].

Fast R-CNN

Как и R-CNN, Fast R-CNN также использует механизм для генерации предложений регионов. Области предложения вырезаются из изображения и изменяются в размере. Затем СНС классифицирует эти измененные области. После этого ограничивающие рамки предложения региона уточняются с помощью SVM, который обучается с использованием функций СНС. Этот алгоритм работает быстрее, чем R-CNN и имеет большую точность.

Faster R-CNN

В Faster R-CNN добавлена региональная сеть предложений (*Region Proposal Networks, RPN*), которая используется для поиска регионов вместо внешнего алгоритма. RPN – это полностью сверточная нейронная сеть, одновременно предсказывающая границы объекта и оценивающая его в каждой позиции. Найденные ей предложения регионов используются в дальнейшем Fast R-CNN для обнаружения объектов. Благодаря RPN нейронная сеть Faster R-CNN обладает большей эффективностью по сравнению с R-CNN и Fast R-CNN [2].

Гистограмма ориентированных градиентов (HOG)

Гистограмма ориентированных градиентов (HOG) в основном является дескриптором признаков, который используется для обнаружения объектов в обработке изображений и других методах компьютерного зрения. Метод дескриптора гистограммы ориентированных градиентов включает в себя входения ориентации градиента в локализованных частях изображения, таких как окно обнаружения, область интереса (ROI) и другие. Одним из преимуществ HOG-подобных функций является их простота, и легче понять информацию, которую они несут [3].

Региональная полностью сверточная сеть (R-FCN)

Полностью сверточные сети на основе регионов или R-FCN – это региональная нейронная сеть для обнаружения объектов. В отличие от других архитектур на основе региона, в этом алгоритме все обучаемые весовые слои являются сверточными [4].

YOLO

You Only Look Once или YOLO имеет следующий принцип работы. Изображение делится на квадратную сетку. СНС выводит вероятность определяемого класса для каждой из ячеек сетки изображения. Ячейки, у которых вероятность соотнесения к какому-либо классу оказалась выше порогового значения, выбираются для определения местоположения объекта на изображении. СНС YOLO выделяется своей быстротой. Базовая модель YOLO обрабатывает изображения в режиме реального времени со скоростью 45 кадров в секунду, в то время как меньшая версия сети, Fast YOLO, обрабатывает 155 кадров в секунду [5].

Распознавание объектов – это общий термин для описания набора связанных задач компьютерного зрения, которые включают идентификацию объектов на цифровых фотографиях. Распознавание образов можно разделить на два этапа: классификацию и локализацию. На рис. 2 представлена структура процесса идентификации различных категорий объектов.

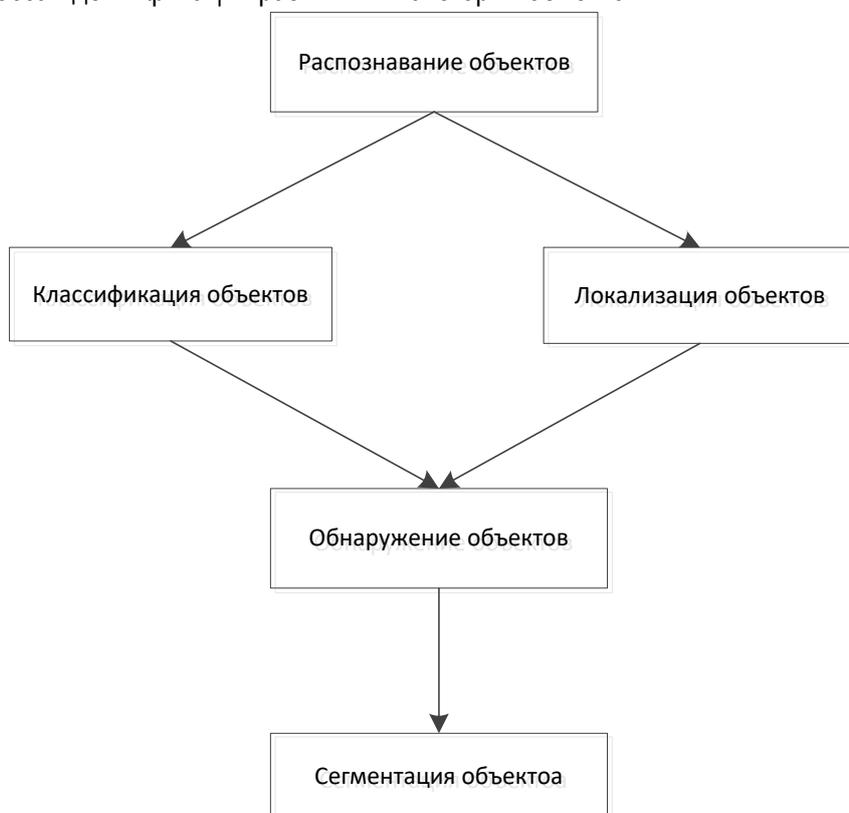


Рис. 2. Структура процесса идентификации различных категорий объектов

Классификация изображений – это процесс прогнозирования типа или класса объекта на изображении. Алгоритм создает список категорий объектов, присутствующих на изображении.

Входные данные: изображение с одним объектом или изображение с несколькими объектами и промаркированным положением этих объектов на изображении (например, ограничивающие рамки).

Выходные данные: метка класса (например, одно или несколько целых чисел, сопоставленных с метками классов).

Локализация объектов – это поиск объектов на изображении. Алгоритмы создают список категорий объектов, присутствующих на изображении, выравнивает по оси ограничивающей рамкой, указывающей положение и масштаб одного экземпляра каждой категории объектов.

Входные данные: изображение с одним или несколькими объектами.

Выходные данные: одна или несколько ограничивающих рамок (например, определяемых точкой, шириной и высотой).

Обнаружением и сегментацией объектов называют процессы, объединяющие в себе результат локализации и классификации объектов на изображении. Алгоритмы создают список категорий объектов, присутствующих на изображении, вместе с выровненной по оси ограничивающей рамкой, указывающей положение и масштаб каждого экземпляра каждой категории объектов.

Входные данные: изображение с одним или несколькими объектами, например, фотография.

Выходные данные: одна или несколько ограничивающих рамок (например, определяемых точкой, шириной и высотой) и метка класса для каждой ограничивающей рамки.

Распознавание объектов на изображении является сложной задачей, которая включает в себя подготовку данных, обучение нейронной сети, тестирование на новых данных. На основе исследования методов и подходов [] к распознаванию объектов на изображении можно выделить следующие этапы:

Классификация

1. Сбор данных для обучения модели нейронной сети

Набор обучающих данных представляет собой набор изображений с целевым объектом. Поиск и сбор данных для обучения моделей машинного обучения является одной из самых трудоемких задач. Для обучения нейронных сетей необходимы порядка нескольких тысяч образцов.

2. Подготовка и нормализация данных

Маркировка каждого изображения номером соответствующего класса, разделение датасета на обучающую и тестовую выборки, рандомизация выборок, аугментация изображений, фильтрация.

3. Выбор топологии сети

Выбор типа нейронной сети в зависимости от требований и задачи.

4. Подбор характеристик сети экспериментальным путем

Определение таких параметров сети, как количество слоев, их тип, количество нейронов в слоях, функция активации, выбор оптимизатора.

5. Подбор параметров обучения сети экспериментальным путем

Такие параметры, как скорость обучения нейронной сети, количество эпох, размер пакетов.

6. Обучение нейронной сети

В процессе обучения НС обрабатывают обучающую выборку. Некоторые сети, которые обучаются без учителя, просматривают выборку только один раз. Сети, обучающиеся с учителем, просматривают выборку несколько раз. Параметр, определяющий то, сколько раз НС совершила полный проход по выборке, называется эпохой обучения.

7. Проверка работоспособности обученной нейронной сети

Важно, чтобы проверка работоспособности НС осуществлялась на тех данных, на которых сеть не обучалась. Именно поэтому на начальных этапах необходимо разделять выборку на обучающую и тестовую. Тестовые данные используются для проверки работоспособности и расчета ошибки сети. Примерами метрик оценки точности классификации объектов НС являются доля правильных ответов модели (accuracy), точность (precision), полнота (recall), ошибки первого и второго рода.

Локализация

8. Сбор данных для обучения модели нейронной сети

Получение изображений с целевым объектом или объектами.

9. Подготовка данных

Разметка изображений. Для обучения НС необходимо указать, где на изображении располагаются целевые объекты. Для этого объекты обводят в прямоугольные рамки, координаты границ которых вместе с самим изображением будут подаваться в НС на этапе обучения. Далее происходит разделение выборки на обучающий и тестовый датасеты.

10. Выбор топологии сети

11. Подбор характеристик сети экспериментальным путем

12. Подбор параметров обучения сети экспериментальным путем

13. Обучение нейронной сети

14. Проверка работоспособности обученной нейронной сети

Загрузка в сеть обучающего датасета для поиска расположения целевых объектов на изображении.

15. Обнаружение объектов

Соединение разработанной нейронной сети, локализующей объекты, и нейронной сети, классифицирующей объекты, в одну последовательную архитектуру.

Сначала будет происходить поиск целевых объектов на изображении, выделение их в прямоугольные рамки. После этого в НС подаются изображения, ограниченные этими прямоугольными рамками с единичными объектами, производится процедура соотнесения объектов в рамках к определенному классу.

16. Проверка работоспособности разработанной архитектуры на тестовом датасете

Приведенный алгоритм действий для разработки НС является основополагающими для реализации распознавания объектов на изображении. Без качественной проработки каждого из этапов невозможно достичь создания системы распознавания объектов на основе НС высокой точности.

Заключение

Задача распознавания объектов на изображении является актуальной и на сегодняшний день затрагивает практически все сферы деятельности человека от медицины до энергетики и транспорта. Создание новых типов нейронных сетей в будущем поможет решать задачи распознавания объектов намного быстрее, а также будет способствовать развитию сфер их применения.

Библиографический список

1. *Ростовцев В. С.* Искусственные нейронные сети. ЭБС Лань, 2019. 216 с.
2. *Сикорский О. С.* Обзор сверточных нейронных сетей для задачи классификации изображений // Новые информационные технологии в автоматизированных системах. 2017. № 20.
3. *Lu T., Wang D., Zhang Y.* Fast object detection algorithm based on HOG and CNN // Proceedings of the SPIE. 2018. Vol. 10615. 5 p.
4. R-FCN: Object Detection via Region-based Fully Convolutional Networks / J. Dai, Y. Li, K. He, J. Sun // NIPS. 2016. P. 379–387.
5. *Redmon J., Divvala S., Girshick R.* You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection // IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. Las Vegas. P. 779–788.

УДК 004.4

А. В. Панков

ученик 10 класса ГБОУ лицея № 144

М. Э. Ершов, Б. М. Губанов, В. Р. Шалахин – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

АЛГОРИТМ ДЕЙКСТРЫ

Введение

Почти каждый человек постоянно путешествует и посещает новые места. Кто-то посещает театры, музеи, выставочные, спортивные, торговые центры, а кому-то необходимо доставлять людям посылки. Для того чтобы прийти вовремя и не заблудиться, правильно рассчитать время на дорогу? в наше время используют навигационные системы. Основная функция навигационной системы – построение кратчайшего маршрута из точки А в точку Б. Современные навигационные программы прекрасно справляются с поставленной для них задачей и легко могут найти кратчайший путь либо путь, при прохождении которого понадобится минимальное количество времени.

Целью написания данной статьи является создание программы навигатора, которая использует алгоритм Дейкстры для построения маршрута между зданиями на карте.

Обзор аналогов

Помимо алгоритма Дейкстры, существует несколько других алгоритмов. Одним из них является алгоритм A^* .

*Принцип работы алгоритма A^**

Алгоритм делит вершины на три класса. Как и в алгоритме Дейкстры, в алгоритме A^* есть неизвестные вершины: вершины, путь к которым еще не известен. Очевидно, что в начале работы алгоритма все вершины, кроме начальной, принадлежат к классу неизвестных.

Воссозданный по обратным указателям найденный путь начинается с конечной вершины и направляется к исходной. Чтобы сразу получить путь в правильном направлении с начальной вершины до конечной, в условиях задачи следует переставить местами начало и конец. Если искать путь начиная с конечной вершины, выражающийся список будет начинаться с начальной вершины и следовать до конечной.

Очевидно, что отличие алгоритма A^* от алгоритма Дейкстры заключается лишь в прописанных условиях выхода в случае, если кратчайший маршрут будет найден раньше, чем произойдет обследование всех вершин.

Предпосылки и причины появления

В 1965 году голландский программист Эдсгер В. Дейкстра решил построить кратчайший маршрут из Роттердама в Гронинген. Но сделал это, не просто посмотрев на карту, а поступив как информатик – абстрагировался от проблемы путешествия от города А в город Б и сформулировал более общую проблему поиска по графу – так и появился алгоритм Дейкстры.

Алгоритм Дейкстры довольно универсален – он может найти кратчайшее расстояние в любой задаче, но при условии, что данную задачу можно представить в виде графа и вес ребра графа будет больше 0.

Алгоритм Дейкстры

Изначально есть граф с заданным количеством ребер, причем у каждого ребра есть свой вес, вес начальной вершины равен 0, а вес остальных вершин – бесконечности. Такая расстановка значений показывает, что нам пока что не известно расстояние от начальной точки до других вершин. Всем вершинам графа присваивается метка «не посещенные».

Алгоритм прекращает работу, если все вершины посещены. В противном случае, из еще не посещенных вершин выбирается вершина u , имеющая минимальную метку [1].

Мы рассматриваем всевозможные маршруты, в которых u является предпоследним пунктом. Вершины, в которые ведут ребра из u , назовем соседями этой вершины. Для каждого соседа вершины u , кроме отмеченных как посещенные, рассмотрим новую длину пути равную сумме значений текущей метки u и длины ребра, соединяющего u с этим соседом.

Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, заменим значение метки полученным значением длины. Рассмотрев всех соседей, пометим вершину u как посещенную и повторим шаг алгоритма.

Рассмотрим работу алгоритма на примере. Дан граф, представленный на рис. 1.

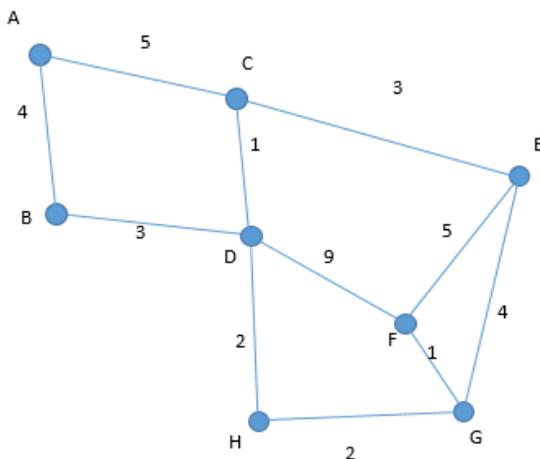


Рис. 1. Граф

Буквами обозначены вершины графа, цифры – время, требуемое на преодоление ребра. Задача: добраться из точки A в точку F за минимальное количество времени. Как мы видим, добраться напрямую из точки A в точку F невозможно, но есть несколько маршрутов, проходящих через другие точки, однако нам неизвестно, по какому пути необходимо пойти, чтобы максимально быстро прийти в точку F [2]. Тогда начнем выполнение алгоритма Дейкстры: из точки A посетим точки C и B – их вес станет равен 5 и 4 соответственно, а точка A будет отмечена как «посещенная». Повторяем данный цикл, но теперь из точки C, далее из точки B, пока все узлы графа не будут отмечены как «посещенные».

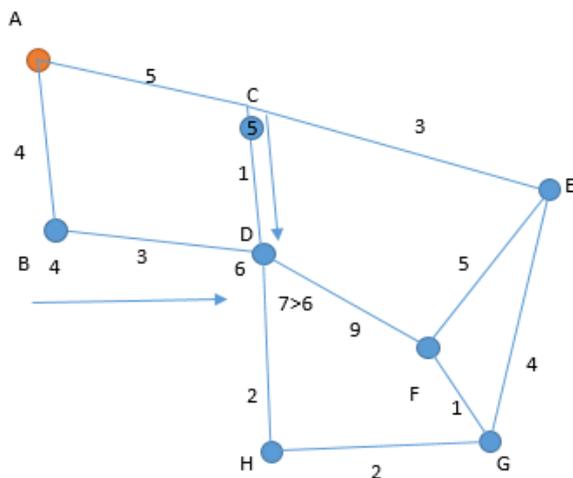


Рис. 2. Граф после посещения некоторых точек

В точку D можно добраться как через точки A, B так и через точки AC, при этом время через AD=7, а через AC=6, поэтому к точке D мы присваиваем значение 6. Повторяя описанный мной алгоритм, мы приходим к выводу, что лучший путь будет проходить через точки A–C–D–H–G–F и иметь значение 11. Ниже представлена блок-схема, наглядно поясняющая принцип работы алгоритма (рис. 3).

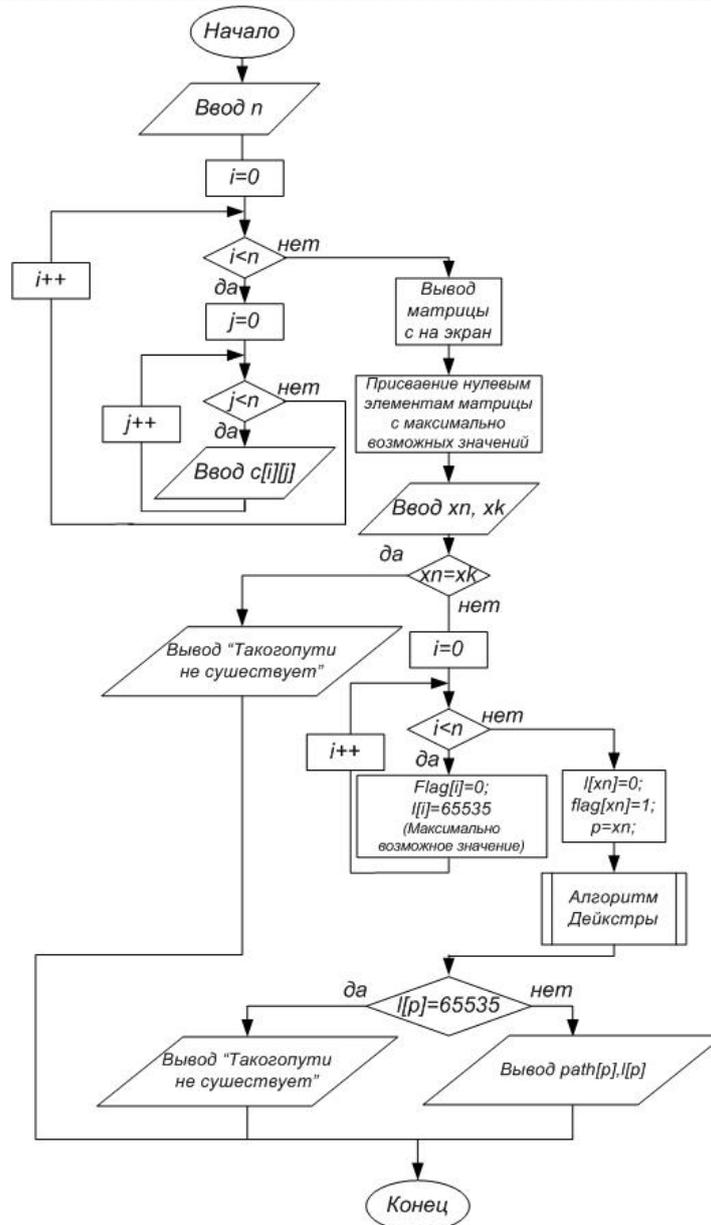


Рис. 3. Блок-схема алгоритма

Программная реализация алгоритма

На примере построения маршрута между зданиями на карте продемонстрируем работу программы. Для реализации алгоритма было решено использовать язык python, а для вывода результата библиотеку OpenCV, которая позволяет рисовать линии поверх карты, на которой я буду искать маршрут. На изображении карты мы строим граф, ребрами которого являются дороги, а вершинами – входы зданий, пересечения дорог, а также повороты дорог (на работу данного алгоритма это не влияет, но важно для визуализации) (рис. 4). Для этого создано два класса – Node и Edge. Класс Node хранит номер вершины, а также информацию о том, с какими вершинами он имеет общие ребра, класс Edge хранит название ребра, его длину, необходимую для нахождения кратчайшего пути, и координаты начала и конца ребра, нужные для отрисовки ребра на карте [3].

Также была создана функция addEdge для удобного добавления новых ребер и вершин в граф и несколько трассировочных функций для вывода промежуточных значений на экран через консоль [4].

Алгоритм с помощью трех вызывающих друг друга функций findPath → ProcessNode → findminNode осуществляет перебор маршрутов до тех пор, пока не найдет маршрут до точки назначения, поиск выполняется по описанному ранее алгоритму Дейкстры. Важно отметить, что первый

найденный алгоритмом маршрут до точки назначения и будет кратчайшим. Итоговый результат работы программы представлен на рис. 5 [5].

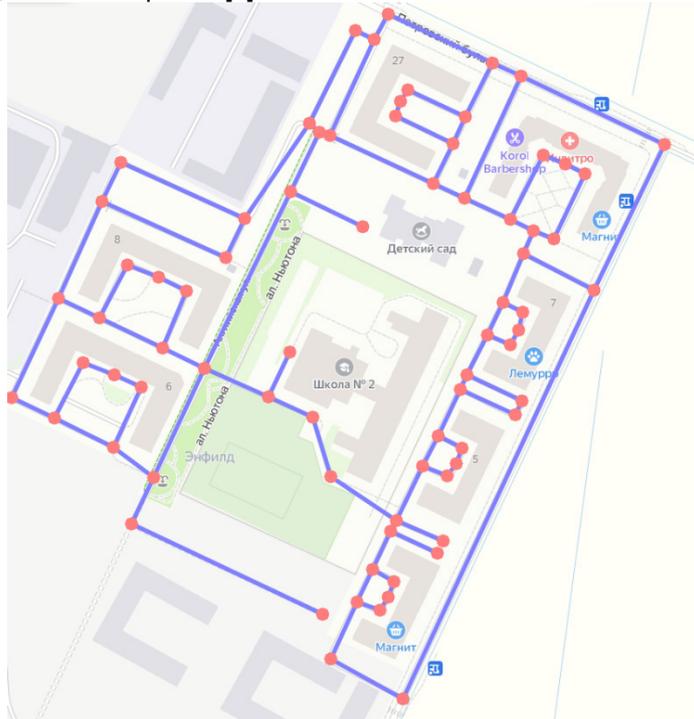


Рис. 4. Построение графа на карте



Рис. 5. Итоговый результат работы программы

Анализ полученных данных и результатов работы программы

В результате проделанной работы мы установили, что для поиска кратчайшего маршрута алгоритм Дейкстры довольно надежен, работает без ошибок независимо от формы и размеров графа [6]. Граф, который мы описали в программе, – произвольный и в данную программу всегда можно записать параметры любого произвольного графа, получить данные кратчайшего пути от точки А до точки Б [7]. Произведена демонстрация и визуализация работы алгоритма.

Библиографический список

1. *Басакер Р., Саати Т.* Конечные графы и сети. М.: Наука, 1974. 368 с.
2. *Берж К.* Теория графов и ее приложения. М.: ИЛ, 1962. 320 с.
3. *Кристофидес Н.* Теория графов. Алгоритмический подход. М.: Мир, 1978. 429 с.
4. *Свами М., Тхуласираман К.* Графы, сети и алгоритмы. М.: Мир, 1984. 455 с.
5. *Татт У.* Теория графов / Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 424 с.
6. *Алексеев В. В., Гаврилов Г. П., Сапоженко А. А.* Теория графов. Покрытия, укладки, турниры: сб. переводов. М.: Мир, 1974. 224 с.
7. *Асельдеров З. М., Донец Г. А.* Представление и восстановление графов. К.: Наукова Думка, 1991. 192 с.

УДК 621.317.6

А. К. Попов

студент кафедры управления в технических системах

И. Г. Криволапчук – старший преподаватель – научный руководитель

РАЗРАБОТКА УЧЕБНОГО СТЕНДА НА ОСНОВЕ 4-БИТНОГО КОНТРОЛЛЕРА NIBBLER

Помимо теоретических знаний, очень важна практика. Для такой дисциплины, как, например, «микроконтроллеры», практические и лабораторные работы обычно проводятся в программных средах типа NI Multisim, однако в таком случае студент работает с моделью, а не с так называемым реальным железом, что накладывает некоторое количество условностей на получаемые результаты. Из-за недостатка практики с настоящими устройствами у многих обучающихся часто возникают проблемы с пониманием того, для чего и как применять полученные в ходе обучения знания, потому как работа с моделями, к примеру, не дает представлений даже о том, как может выглядеть тот или иной элемент на плате и для чего он нужен. Поэтому для улучшения качества получаемых знаний существует некоторая необходимость в разработке учебного стенда, с помощью которого возможно будет отслеживать работу определенных элементов, в том числе логических.

В качестве основы для стенда решено было использовать модульную учебную платформу NIELVIS [1]. Эта система позволяет обучать студентов действующим промышленным технологиям на реально используемых устройствах – инструменты ELVIS интегрированы с измерителями Data Acquisition (DAQ). Система включает в себя полный комплекс из 12 измерительных приборов, среди которых осциллограф, динамический анализатор сигналов, мультиметр, генератор функций и др. Платформа работает различными программными продуктами, среди которых NI LabVIEW и NI Multisim [2].

Для этой платформы будет разработана специальная плата, в основу которой ляжет проект 4-битного микроконтроллера Nibbler. Воспользоваться этим проектом было решено из-за простоты схемы, доступности компонентов, в том числе и возможностью замены некоторых зарубежных элементов отечественными, а также и большим количеством документации и готового программного обеспечения, к примеру, для работы с чипами микроконтроллера. Ядро Nibbler состоит всего из 13 дискретных логических микросхем серии 7400 – отдельных счетчиков, регистров, буферов и логических элементов [3].

Однако этот проект не будет оставлен в своем первоначальном виде. Для превращения этого микроконтроллера в лабораторный стенд уже выполнено следующее:

- построена модель для изучения, тестирования и отладки схемы;
- найдена замена иностранным компонентам отечественными.

Используемые в оригинальной схеме Nibbler компоненты и их отечественные аналоги представлены в табл. 1. К сожалению, не для каждого получается подобрать аналог, но большую часть, вероятно, получится заменить на компоненты российского производства;

- добавлены индикаторы на шины данных и адресов для возможности отслеживания сигналов, проходящих по шинам в определенные моменты времени;
- написана, скомпилирована и загружена простейшая программа, выводящая символы на экран.

Для начала работы над стендом необходимо создать модель. Для этого был использован пакет NI Multisim. В нем была построена исходная схема Nibbler с некоторым количеством условностей, чтобы стал возможным запуск проекта в программе (рис. 1).

Во-первых, был добавлен сторонний MCU серии PIC16F84, задача которого – запись необходимой прошивки при запуске проекта в ROM-чип серии 27C64-25P, входы которого подключены к чипам энергозависимой памяти CMOS серии 74HC163D, а выходы – к шине PROGBYTE.

Другие 2 ROM-чипа серии этой серии были заменены на стандартные, предлагаемые самим Multisim. Программа позволяет изменять модель этих чипов, что и было использовано. К проекту Nibbler прилагается некоторое количество образов, то есть файлов с расширением *.BIN, среди которых есть

образы микрокодов, которые должны быть записаны на эти два ROM-чипа. Они были преобразованы в формат *.HEX, а затем в требуемый Multisim вид для внесения изменений в модели чипов.

Таблица 1

Иностранные компоненты и отечественные аналоги

Оригинальный компонент	Отечественный аналог
74HC377DW (SN74HC377DW(IP27))	Отсутствует
74HC173D (4 шт.) (74HC173D,652)	Отсутствует
74HC175D (74HC175D, 653)	KP1564TM IN74HC175AD
74HC163D (3 шт.) (74HC163D, 653)	IN74HC163AD
27C64-25P (3 шт.) (27C64-25JL/MBM27C64-25)	1626PФ1
74HC244DW (SN74HC244DWR) (2 шт.)	KP1564АП5, IN74HC244ADW
74HC125N (SN74HC125N)	1564ПП8, IN74HC125AN
HM6116A120	KP537PY25Б или KP537PY10
74LS181DW	K555ИПЗ, ЭКФ153ЗИПЗ

Также на рис. 1 можно заметить два логических анализатора, один из которых подключен к контактам дисплея, а другой – между CMOS памятью и ROM-чипом с записанной программой. Это сделано для проверки работоспособности модели, а также для отслеживания и анализа сигналов.

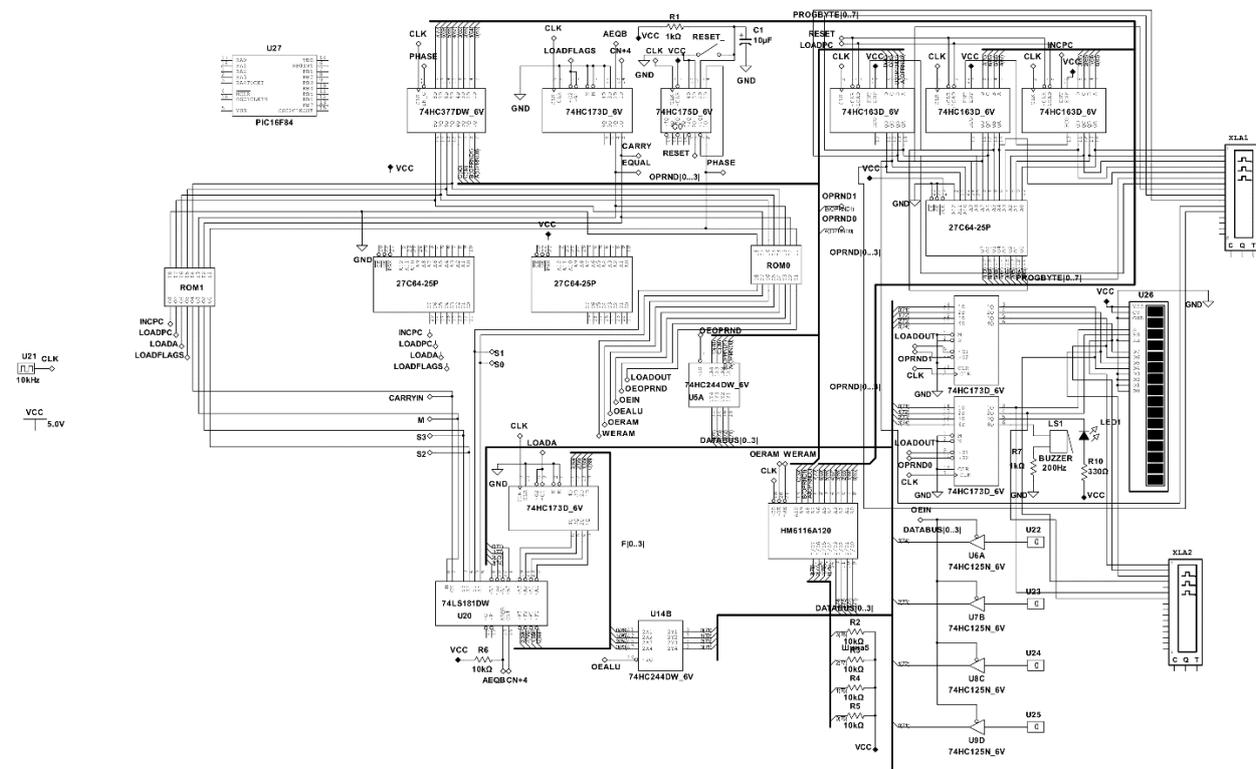


Рис. 1. Модель Nibbler, собранная в NI Multisim

Данная схема способна имитировать работу контроллера и позволяет запускать программы, написанные как самостоятельно на специальной версии языка assembler для этого контроллера, так и другими людьми. Для проверки этого факта была написана простейшая программа, выводящая

текст «HELLO» на дисплей (рис. 2). Компиляция программы из *.ASM файла в файл *.HEX, необходимый PIC16F84 для записи в ROM-чип при запуске проекта, была выполнена с помощью прилагающегося к контроллеру компилятора, написанного на языке С.

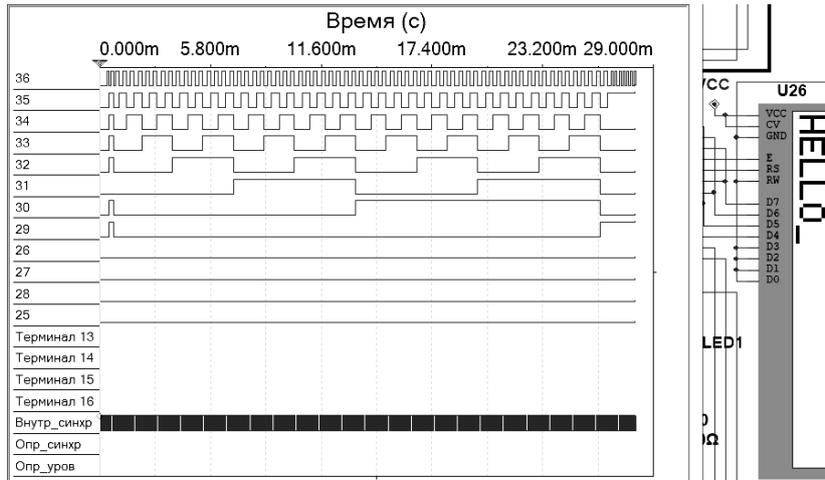


Рис. 2. Результат выполнения программного кода

На некоторые шины данных были установлены 7-сегментные индикаторы (рис. 3) для более наглядного представления информации.

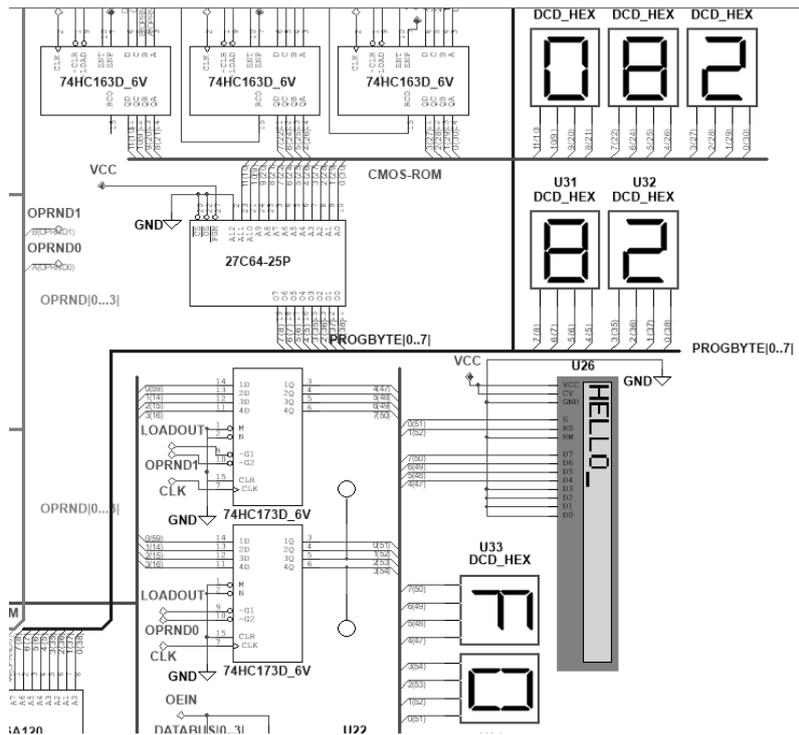


Рис. 3. Индикаторы, подключенные к шинам

Для удобства проведения лабораторных или практических работ со стендом необходимо добавить возможность потактового выполнения программы. Для этого нужно рядом с кварцевым резонатором установить кнопку, при нажатии которой проходит один такт. Однако из-за высокой частоты работы резонатора 10 кГц такой кнопкой будет работать неудобно, а может быть и невозможно, поэтому в дальнейшем необходимо будет немного усовершенствовать данный узел.

На будущее намечены следующие задачи:

- добавить возможность потактового и покомандного исполнения программ для отслеживания процессов, происходящих в системе;

- расширить пространство ввода и вывода;
- на ввод вместо имеющихся клавиш привязать АЦП;
- на вывод вместо имеющегося дисплея, динамика и светодиода привязать ЦАП;
- написать простую программу для проведения лабораторных или практических работ;
- при разводке платы добавить на схему разъем для возможности подключения платы к NIELVIS;
- изготовить плату и распаять на ней все необходимые компоненты;
- написать учебное пособие, в котором описать взаимосвязи сигналов, устройство микрокода.

Таким образом, результатом выполнения работы должно стать появление рабочего устройства, готового к проведению практических и лабораторных работ со студентами.

Библиографический список

1. Дьяченко Ю. Н. Применение комплекта оборудования NI ELVIS II фирмы National Instruments Corporation в лабораторном практикуме: учеб. пособие. URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/2368.pdf/view> (дата обращения: 12.02.2022).
2. Технологический эксперт 2TEST // Модульная учебная платформа. URL: <https://www.2test.ru/solutions/proizvodstvo-radioelektroniki/kontrolno-izmeritelnye-pribory-kip-dlya-radioelektroniki/modulnye-izmeritelnye-platformy/modulnaya-uchebnaya-platforma.html> (дата обращения: 12.02.2022).
3. Chamberlin S. Nibbler 4 Bit CPU. URL: <https://www.bigmessowires.com/nibbler/> (дата обращения: 25.02.2022).

УДК 620.91

Д. В. Прохоров

ученик 10 класса ГБОУ гимназии № 272

Е. А. Безобразов, А. А. Колосовская – студенты кафедры управления в технических системах – научные руководители

ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ВРЕД ИЛИ ПОЛЬЗА ДЛЯ ЭКОЛОГИИ

Началом развитием альтернативной энергии можно считать нефтяной кризис 1973 года. Он заключался в том, что страны «Организации стран – экспортеров нефти» (ОПЭК), Египет и Сирия заявили об отказе поставлять нефть странам, поддерживавшим Израиль в ходе войны Судного дня. Война судного дня – война Израиля против Египта и Сирии. Данный кризис затронул такие страны, как Великобритания, Франция, Канада, США, Япония. Из-за этого кризиса цена на нефть выросла с 3 до 7 \$/баррель. После этого кризиса Великобритания, Франция, Федеративная Республика Германия, Япония начали развивать альтернативную энергию.

Альтернативная энергетика – энергия, полученная из возобновляемых ресурсов, которые естественным образом пополняются в масштабе человечества [1].

Возобновляемая или зеленая энергия – электроэнергия, производимая с существенно более низкими выбросами парниковых газов, чем при традиционном производстве электроэнергии на ископаемом топливе [2].

К альтернативным электростанциям относятся:

- солнечная электростанция (СЭС);
- ветряная электростанция;
- гидроэлектростанция (ГЭС);
- приливные электростанции;
- геотермальные станции (ГеоТЭС).

Сначала рассмотрим электростанции, работающие на энергии Солнца. На данный момент распространены два типа: башенного и использующие фотоэлектрические элементы.

СЭС башенного типа состоит из массива двухосевых отражателей (гелиостатов). Гелиостат – это устройство, включающее в себя зеркало, обычно плоское, которое поворачивается, чтобы продолжать отражать солнечный свет к заданной цели, компенсируя видимое движение солнца в небе, концентрируя солнечный свет на центральном приемнике на вершине башни; в ресивере находится теплоноситель, который может состоять из водяного пара или расплавленной соли. Рабочая жидкость в приемнике нагревается до 500–1000 °С, а затем используется в качестве источника тепла для питания систем генерации или накопления энергии. Коэффициент полезного действия (КПД) на такой станции равняется 20–30 % [3].



Рис. 1. Солнечная электростанция

Принцип работы данной электростанции использующая фотоэлектрические элементы таков: берется полупроводниковый диод большой площади, когда квант света влетает в рп-переход – генерируются пара электронов, которые создают перепад напряжения на выводах этого диода [4]. Для кремневой пластины около 0,5В КПД такой электростанции 16 %. Один кВт электроэнергии обходится в ~0,5\$ [5].



Рис. 2. Электростанция на полупроводниковых фотоэлементах

Ветряная электростанция представляет собой группу ветряных турбин в одном месте, используемых для производства электроэнергии. Ветряные электростанции различаются по размеру от небольшого количества турбин до нескольких сотен ветряных турбин, охватывающих обширную территорию. Ветряные электростанции могут быть как наземными, так и шельфовые.

Самый распространенный в настоящее время тип ветряных электростанций – это наземные. Ветрогенераторы устанавливаются на холмах или возвышенностях. КПД таких установок 30–35 % [6].



Рис. 3. Ветряные электростанции, расположенные на холме

Шельфовые ветряные электростанции строят в море: 10–60 км от берега. Данные электростанции имеют несколько значительных плюсов, в отличие от наземных: их практически не видно с берега, они не занимают землю, имеют большую эффективность, чем наземные. КПД данных станций 30–40 %.

Общий минус у Ветряных электростанций (ВЭС) – это отключение во время сезона миграции птиц.

Теперь мы рассмотрим ГЭС. Гидроэнергетика представляет собой использование падающей или быстро текущей воды для производства электроэнергии или питания машин. Это достигается за счет преобразования гравитационного потенциала или кинетической энергии источника воды в энергию [6].



Рис. 4. Ветряные электростанции, расположенные на шельфе

Наиболее распространенным видом гидроэлектрических станций является плотинная ГЭС. Напор воды в них создается посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку и поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках.



Рис. 5. Плотинная ГЭС

Приплотинные ГЭС

В этом случае река полностью перегораживается плотиной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней ее части. Вода подводится к турбинам через специальные напорные тоннели [7].



Рис. 6. Приплотинная ГЭС

Деривационные ГЭС

Данный вид гидроэлектростанции строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходимый напор воды в ГЭС такого типа создается посредством отвода воды из речного русла через специальные водоотводы [7].



Рис. 7. Деривационная ГЭС

Гидроаккумулирующие ГЭС

Этот метод вырабатывает электроэнергию для удовлетворения высоких пиковых потребностей за счет перемещения воды между резервуарами на разных высотах. Во время низкого спроса на электроэнергию избыточная генерирующая мощность используется для перекачки воды в более высокий резервуар, когда спрос становится больше, вода сбрасывается обратно в нижний резервуар через турбину [7].



Рис. 8. Гидроаккумулирующая ГЭС

В среднем КПД для ГЭС равен 80 %. Главным и неоспоримым плюсом ГЭС является низкая цена за один кВт и использование возобновляемой энергии, но есть и огромные минусы, такие как затопление пахотных земель, загрязнение рек, снижение численности рыб, исчезновение мест гнездования перелетных птиц, недостаточное увлажнение пойменной почвы.

Также к ГЭС можно отнести такие типы станций, как приливные электростанции. Для получения энергии залив или устье реки перекрывают плотиной, в которой установлены гидроагрегаты, которые при приливе или отливе вырабатывают электричество [7].



Рис. 9. Приливная ГЭС

Помимо этого, существуют геотермальные электростанции (ГеоТЭС). Данные станции могут быть расположены в термальных регионах. Самой крупной ГеоТЭС является Олкаррия IV в Кении. КПД геотермальных электростанций около 7–10 %



Рис. 10. Геотермальная электростанция

В большинстве используются два типа ГеоТЭС: прямого действия и бинарного.

В ГеоТЭС прямого действия пар, нагретый от температуры земли, раскручивает паровую турбину, а после выбрасывается в атмосферу.

В бинарной схеме ГеоТЭС пар или горячей вода нагревает другую жидкость, например, фтордихлорбромметан, после нагрева носителя вода отправляется обратно к центру земли для нагрева.

ГеоТЭС имеет несколько значительных плюсов перед ТЭС, такие как неисчерпаемость, стабильность, экологичность, компактность.

Но и есть значительные минусы, такие как низкая мощность, низкий КПД, высокая стоимость за киловатт и сильный износ труб. Сильный износ труб происходит из-за того, что вода из подземных источников может быть насыщена газами и тяжелыми металлами: свинец, кадмий, мышьяк, цинк, сера, бор, аммиак, фенол и т.п. [9].

А так ли экологичная зеленая энергетика? Рассмотрим главные минусы зеленых электростанций.

Солнечные электростанции

- Не работоспособность в ночное время, малая работоспособность в вечернее время и пасмурную погоду.
- Малое КПД.
- Необходимость использования больших площадей.

- До 80 % солнечной энергии направляется на нагрев панели, при нагревании солнечной панели на 1° его эффективность падает на 0,5 %. Если использовать системы охлаждения, то температура будет снижена, но запитывание систем охлаждения происходит от самих панелей.

- Фотоэлементы могут содержать ядовитые вещества, такие как свинец и сурьма.

Ветровые электростанции

- Ветряные электростанции прекращают работу во время сезонного перелета птиц.
- Снижают площадь пригодных сельско-хозяйстве земель.
- Зависимость от погодных условий. Если ветер слишком слабый, то установка крутится, не будет, а если ветер слишком сильный, то ветряная установка останавливается.

- Срок службы лопастей всего 20 лет. Также переработка лопастей очень дорогая и не выгодная, обслуживающей компании проще захоронить лопасть и произвести новую.

Гидроэлектростанции

- Затопление пахотных земель.
- Загрязнение рек.
- Снижение численности рыб.
- Исчезновение мест гнездования перелетных птиц.
- Недостаточное увлажнение пойменной почвы.
- Удаленность.

Геотермальные электростанции

- Низкий КПД.
- Возможность загрязнения территории тяжелыми металлами и ядовитыми газами.

Библиографический список

1. Альтернативная энергетика. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Альтернативная_энергетика (дата обращения:16.03.2022).

2. Зеленая энергия. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Возобновляемая_энергия (дата обращения:16.03.2022).

3. Солнечная электростанция. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Солнечная_электростанция (дата обращения:16.03.2022).

4. Солнечная панель. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_panel (дата обращения:16.03.2022).

5. Солнечная энергия. URL: <https://habr.com/ru/post/158875> (дата обращения:16.03.2022).

6. Ветряная электростанция. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная_электростанция (дата обращения:16.03.2022).

7. Гидроэлектростанции. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Hydroelectricity> (дата обращения:16.03.2022).

8. Приливные электростанции. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Tidal_power (дата обращения:16.03.2022).

9. Геотермальная электростанция. URL: <https://habr.com/ru/company/toshibarus/blog/442632> (дата обращения:16.03.2022).

УДК 378.147

Р. В. Рамазанов

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Дашевский – кандидат технических наук – научный руководитель

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЕЧАТАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ ПРИНТЕРА ДЛЯ ПЕЧАТИ НЕСМЫВАЕМОЙ МАРКИРОВКИ НА МЕТАЛЛЕ

Введение

УФ-печать [1] – вид струйной печати. По данной технологии рисунок наносится красками, полимеризующимися под целенаправленным воздействием на них ультрафиолетовых лучей. Из-за ультрафиолета чернила превращаются в полимер, а верхний слой на участках, в которых они присутствуют на носителе изображения, покрывается пленкой, способной выдерживать самые разные внешние воздействия.

УФ-печать на металле – это единственная возможность наносить изображения на неподготовленные поверхности. Лучи превращают краски в твердое вещество, надежно держащееся на плоскости. По этой причине рисунок надолго сохранит цвет, а также не повредится от различных внешних воздействий.

Функционирование принтера происходит следующим образом: вращающийся подающий валик перемещает материал, на который наносится маркировка. В свою очередь по продольной оси осуществляется движение механизма, опускающего печатающую головку принтера, который и наносит рисунок на материал.

Необходимо определить способ движения ЧПУ-станка, выбрать печатающую головку, шаговые двигатели, микроконтроллер и остальные комплектующие.

Выбор шагового двигателя

Шаговый двигатель [2] – тип электромеханического устройства, которое вращается с точно определенными шагами ротора. Он приводится в действие импульсами, подаваемыми ему в определенной последовательности. Шаговые двигатели широко используются при проектировании ЧПУ.

При выборе шаговых двигателей для ЧПУ следует учитывать несколько критериев:

- 1) размер двигателя;
- 2) номинальный крутящий момент;
- 3) электроснабжение;
- 4) шаговый драйвер.

Размер двигателя

Национальная ассоциация производителей электрооборудования (NEMA) определила стандарт размера лицевой панели двигателя. Представленные размеры шаговых двигателей по критериям NEMA на рынке колеблются от 8 до 42. По мере увеличения числа NEMA размер и стоимость шагового двигателя возрастают. Наиболее распространенные форм-факторы при проектировании ЧПУ: NEMA 17, NEMA 23 и NEMA 34 [3].

NEMA 8 имеет размер рамы 0,8 дюйма (20 мм) и удерживающий момент 0,08 Нм. Подходит для вышивальных машин и струйных принтеров.

Размер рамы NEMA 11 составляет 1,1 дюйма (28 мм), а удерживающий момент составляет 0,12 Нм. Подходит для линейных приводов, телескопов, аналитических устройств и небольших 3D-принтеров.

NEMA 14 имеет размер рамы 1,4 дюйма (35 мм) и удерживающий момент 0,28 Нм. Этот шаговый двигатель используется в небольших 3D-принтерах, линейных приводах, аналитических устройствах.

Размер рамки NEMA 17 составляет 1,7 дюйма (42 мм). Удерживающий момент составляет 0,8 Нм. Этот тип шагового двигателя используется в проектах, где потребность в крутящем моменте не высока. Так что 3D-принтеры, дешевые лазерные граверы и небольшие фрезерные станки с ЧПУ

могут быть оснащены NEMA 17. Его также можно использовать с резаками для пенопласта с ЧПУ с горячей проволокой, только если машина не слишком тяжелая.

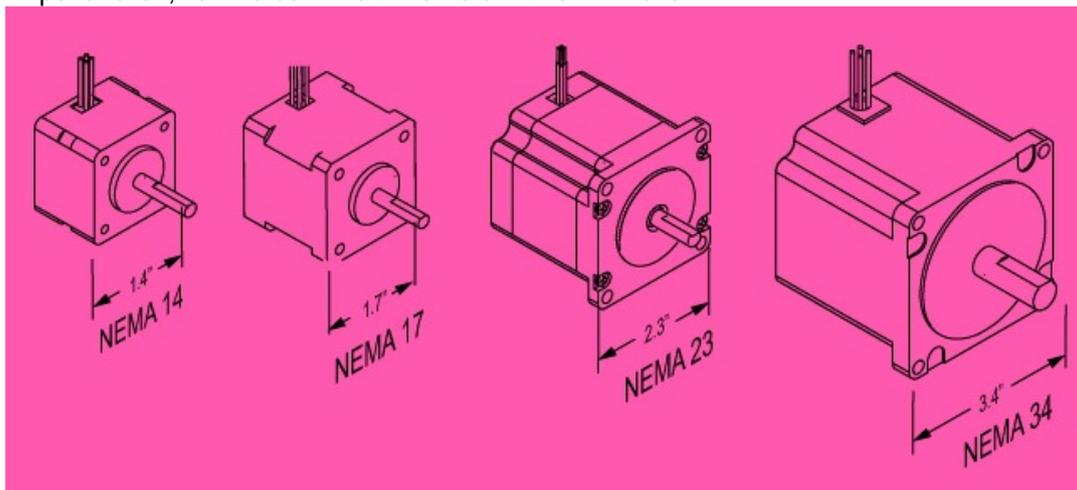


Рис. 1. Размеры шаговых двигателей

NEMA 23 имеет размер рамки 2,3 дюйма (57 мм). Этот тип шагового двигателя имеет удерживающий момент 3,2 Нм. NEMA 23 подходит для приложений с высокими нагрузками, где требуется высокий крутящий момент. Обычно он использует 24–36 В постоянного тока. Это также обеспечивает достаточную силу для проталкивания материала. Таким образом, его можно использовать с более крупными 3D-принтерами и тяжелыми резаками для пенопласта с ЧПУ. Это также разумный выбор для фрезерных и фрезерных станков с ЧПУ среднего размера.

Размер рамки NEMA 34 составляет 3,4 дюйма (86 мм). Удерживающий момент NEMA 34 составляет 12 Нм. Обычно он использует 46 В постоянного тока. Этот шаговый двигатель является хорошим выбором для гравировальных станков с ЧПУ с высоким крутящим моментом для резки твердых материалов.

NEMA 42 имеет размер рамы 4,2 дюйма (110 мм). NEMA 42 имеет удерживающий момент 30 Нм, 80 В постоянного тока. Используется для настройки промышленных ЧПУ, где задействованы громоздкие движущиеся части.

Номинальный крутящийся момент

Выходной крутящийся момент шагового двигателя высокий при небольшой скорости вращения и со временем падает с увеличением скорости. Но можно получить сравнительно более высокий крутящийся момент при той же скорости, подав более высокое входное напряжение на обмотки двигателя с помощью шагового драйвера.

Электроснабжение

При выборе источника питания и драйвера важным параметром, который необходимо проверить в паспорте двигателя, являются его номинальный ток и индуктивность. Можно запустить шаговый двигатель, даже если ток на 40 % меньше номинального значения, но это сильно повлияет на крутящийся момент. Поэтому рекомендуется запускать шаговый двигатель при номинальном токе, чтобы он никогда не превышал номинальное значение.

Напряжение источника питания, необходимое для привода двигателя на максимальной скорости, зависит от номинальной индуктивности двигателя, и оптимальное входное напряжение, необходимое для работы двигателя на максимальной скорости без проблем с остановкой, можно рассчитать, применив уравнение:

$$\text{Напряжение, } v = 32 \times \sqrt{\text{индуктивность.}}$$

Получившееся значение – оптимальное входное напряжение, необходимое для работы шагового двигателя на максимальной скорости, составляет 32 В. Но в то же время шаговый двигатель может работать с меньшим входным напряжением без каких-либо проблем с остановкой.

Шаговый драйвер

Рекомендуется использовать линейные драйверы, так как вероятность возникновения вихревых токов в двигателе меньше. Это позволит двигателю охладиться. В противном случае в двигателе может образоваться больше тепла. Драйвер двигателя должен иметь входное напряжение немного выше, чем входное напряжение двигателя.

Выбор модели шагового драйвера

Nema 17 – наиболее оптимальный размер для домашних проектов.

Модель	Шаг угол, град	Длина, мм	Ток, А	Сопр., Ом	Индукт., мГн	Удерж. момент, Н×см min	Крутящий момент, Н×см min	Мом.ин. ротора, г×см ²	Кол-во каб.	Вес, г
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	4	280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	6	280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28	28	2.2	54	6	280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	4	350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	4	350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	4	350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38	34	2.6	68	6	350

Рис. 2. Характеристики Nema 17

Шаговый электродвигатель NEMA 17hs4401 [4] – один из самых популярных из этой серии. Размер: 40*42*42мм. Длина вала 24 мм, его диаметр 5 мм. Расстояние между крепежами 31,5 мм. Сам корпус выполнен из алюминия и пластин стали. Номинальный ток 1,7 А, 2 фазы, сопротивление фазы 1,5 Ом, индуктивность фазы 2,8 мГн, момент инерции 54 г*см², момент удержания 4 кг*1 см, удерживающий момент 40 Н/см. Вес 280 г четыре провода длиной около 40 см. Угол 1,8 градуса.

Данный электромотор из-за малого угла вращения позволяет снизить вибрацию. Точность возможно увеличить в десять-двадцать раз. С данным двигателем рекомендуется использовать драйвер A4988, а управление осуществлять с помощью Arduino. Мотор 17hs4401 биполярный, он более эффективный, так как пользуется всей обмоткой. Питаться он может от сети 12В. В этой модели возможно работать с микрошагами, что позволяет лучше позиционировать остановку, и это очень полезно для станков с ЧПУ.

Максимальное входное напряжение, при котором двигатель будет работать на самой высокой скорости вычислим по ранее приведенной формуле:

$$v = 32 \times \sqrt{2,8} = 53,5 \text{ В}$$

Выбор печатающей головки [5]

Преимущества печатающей головки HP C6602A:

- высокая скорость печати;
- чернила быстро высыхают;
- большой резервуар для чернил;
- подходит для печати на различных материалах.



Рис. 3. Печатающая головка HP C6602A

Схема управления печатающей головкой

Электроника состоит из блока питания, который обеспечивает 12 В постоянного тока, повышающего преобразователя, который поднимает это напряжение до 18 В, Arduino UNO, который генерирует управляющие импульсы, и двух микросхем ULN2803, преобразующих 5 В GPIO в уровень 18 В, необходимый для работы печатающей головки.

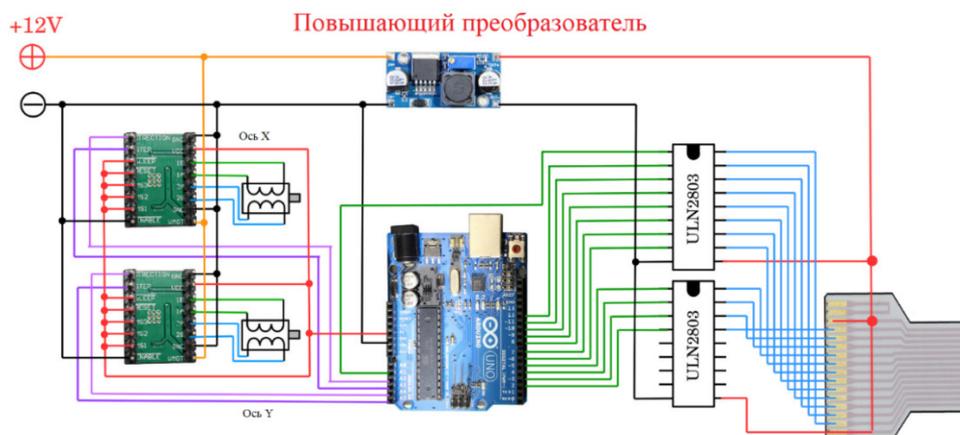


Рис. 4. Печатающая головка HP C6602A

Электронику подсоединяем к шаговым двигателям (по осям X и Y). Далее устанавливаем на валы каретку с печатающей головкой. Вращение двух шаговых двигателей будет обеспечивать движение головки и материала под ней.

Заключение

В итоге для сборки ЧПУ-принтера выбраны следующие комплектующие:

- Arduino Uno;
- кнопка включения питания;
- блок питания – 12 В, 3 А или мощнее;
- 2 драйвера шагового двигателя A4988;
- 2 шаговых двигателя 17hs4401;
- ULN2803 8-ми канальный драйвер нагрузки;
- печатающая головка HP C6602A;
- крепление для печатающей головки HP Q2299A;
- повышающий преобразователь XL6009 DC-DC;
- резисторы.

Также понадобятся шкив натяжителя, шкив для установки на вал двигателя, винты и болты М3 и М4, квадратные гайки М3, 4 алюминиевых квадратных профиля, 2 стальных полированных вала,

1 алюминиевая труба. Для двигателей и плат необходимы корпуса слева и справа, а также каретка для печатающей головки.

Библиографический список

1. *Мирчев В. Ю.* Способ отверждения вещества уф-излучением и устройство для его осуществления. URL: https://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2401703&TypeFile=html (дата обращения: 15.02.2021).
2. *Рентюк В.* Шаговые двигатели и особенности их применения // Компоненты и технологии. 2013. № 147.
3. What is NEMA? How NEMA is related to stepper motor sizing and CNC applications. URL: <https://www.electronikzmentor4u.com/what-is-nema-how-nema-is-related-to-stepper-motor-sizing-and-cnc-applications/latest-technology-trends> (дата обращения: 02.09.2021).
4. Шаговый двигатель 17hs4401. URL: <https://gistroy.ru/wiki-parts/17hs4401> (дата обращения: 02.09.2021).
5. Lewis. N.C. Cartridge Theory. URL: <http://nicholasclewis.com/projects/inkshield/theory> (дата обращения: 02.09.2021).

УДК 519.714.23

А. М. Рулев

студент кафедры управления в технических системах

С. С. Тимофеев – старший преподаватель – научный руководитель**СИНТЕЗ АДАПТИВНОЙ САУ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ФУНКЦИЙ ЛЯПУНОВА**

Адаптивные системы автоматического управления (САУ) относятся к классу систем, в которых характеристики объекта управления (ОУ) могут изменяться непредвиденным образом и цель управления не может быть достигнута при первоначальном уровне информации об ОУ [1]. Для достижения цели управления информация об ОУ обновляется в процессе работы и используется для настройки параметров регулятора. Среди таких систем можно выделить адаптивные САУ с эталонной моделью [2], содержащие динамическую модель замкнутой системы, обладающую требуемыми (желаемыми) характеристиками. Поскольку адаптивные системы являются нелинейными, то основным методом синтеза данных систем является метод функций Ляпунова [3], широко используемый при исследовании устойчивости нелинейных систем [4].

Цель настоящей статьи заключается в исследовании особенностей моделирования адаптивных САУ с помощью метода функций Ляпунова с использованием пакета Matlab/Simulink.

Структурная схема адаптивной САУ изображена на рис. 1 и включает в себя основной контур – содержащий ОУ, эталонную модель (ЭМ) и регулятор (коэффициенты K^g и K^x), а также алгоритм адаптации, осуществляющий подстройку коэффициентов регулятора. В составе основного контура могут использоваться различные структуры регуляторов [5], однако рассматриваемая схема является одной из наиболее типичных для данного класса САУ.

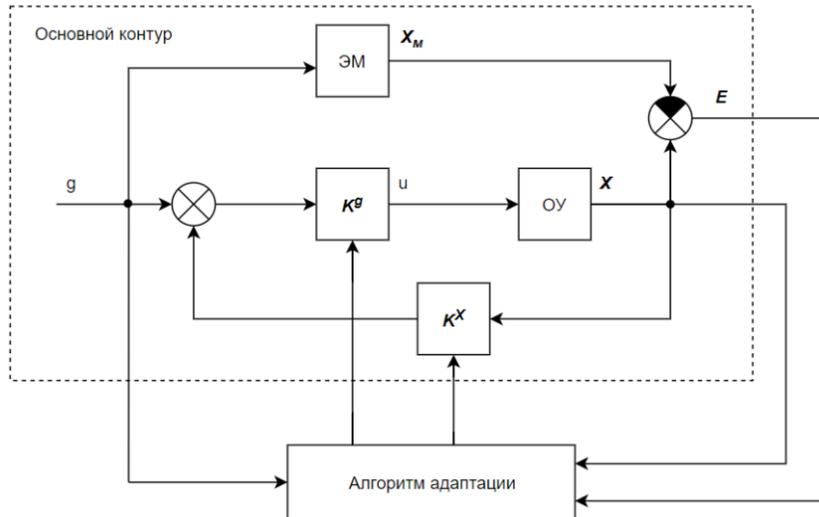


Рис. 1. Структурная схема адаптивной САУ

Для синтеза алгоритма адаптации используется метод функций Ляпунова. Подробный вывод всех расчетных соотношений, описывающих основной контур и контур адаптации системы, структурная схема которой изображена на рис. 1, изложен в [6]. Здесь ограничимся указанием наиболее существенных для понимания сути используемого подхода соотношений.

Уравнение основного контура в отклонениях (относительно ошибки) можно представить в виде:

$$\dot{E} = A_m E + B_m \Theta \Sigma, \quad (1)$$

где $E = X - X_m$ – ошибка (отклонение значений вектора состояний ОУ от вектора состояний ЭМ); A_m и B_m – соответственно матрица коэффициентов и матрица входа ЭМ; Θ – вектор, зависящий от отклонений параметров регулятора от оптимальных; Σ – вектор, зависящий от переменных состояния ОУ и коэффициентов регулятора.

Оптимальные коэффициенты регулятора определяются исходя из условия устойчивости основного контура следующим образом:

$$\mathbf{BmKX}^* = \mathbf{A}_m - \mathbf{A}, \mathbf{BKg}^* = \mathbf{B}_m, \quad (2)$$

где \mathbf{A} и \mathbf{B} – соответственно матрицы коэффициентов и входа ОУ.

В качестве кандидата на роль функции Ляпунова можно рассмотреть следующую функцию:

$$V = 0,5\mathbf{E}\mathbf{T}\mathbf{H}\mathbf{E} + 0,5\text{tr}(\mathbf{\Theta}\mathbf{T}\mathbf{G}-\mathbf{1}\mathbf{\Theta}), \quad (3)$$

где \mathbf{H} и \mathbf{G} – квадратные матрицы такие, что $\mathbf{H}=\mathbf{H}\mathbf{T}>0$ и $\mathbf{G}=\mathbf{G}\mathbf{T}>0$.

Найдем производную этой функции, воспользовавшись правилами дифференцирования матриц [7]:

$$dV/dt = \mathbf{E}\mathbf{T}\mathbf{H}d\mathbf{E}/dt + \text{tr}(\mathbf{\Theta}\mathbf{T}\mathbf{G}-\mathbf{1}\mathbf{\Theta}) = \mathbf{E}\mathbf{T}\mathbf{H}\mathbf{A}\mathbf{m}\mathbf{E} + \text{tr}[(\mathbf{B}\mathbf{m}\mathbf{T}\mathbf{H}\mathbf{E}\mathbf{\Sigma}\mathbf{T} + \mathbf{G}-\mathbf{1} d\mathbf{\Theta}/dt)\mathbf{\Theta}]. \quad (4)$$

Очевидно, что если

$$d\mathbf{\Theta}/dt = -\mathbf{G}\mathbf{B}\mathbf{m}\mathbf{H}\mathbf{E}\mathbf{\Sigma}\mathbf{T}, \quad (5)$$

то (2) является функцией Ляпунова, то есть найдется такая матрица \mathbf{H} , чтобы выполнялось условие теоремы Ляпунова: $V > 0, dV/dt < 0$.

Уравнения алгоритма адаптации, полученные путем преобразования уравнений (1) и (5), имеют следующий вид:

$$d\mathbf{KX}/dt = -\mathbf{G}\mathbf{1}\mathbf{B}\mathbf{m}\mathbf{H}\mathbf{E}\mathbf{X}\mathbf{T}, d\mathbf{K}g/dt = -\mathbf{K}g\mathbf{G}\mathbf{2}\mathbf{B}\mathbf{m}\mathbf{H}\mathbf{E}(g + \mathbf{K}\mathbf{X}\mathbf{X})\mathbf{T}(\mathbf{K}g)\mathbf{T}\mathbf{K}g, \quad (6)$$

где $\mathbf{G}\mathbf{1}, \mathbf{G}\mathbf{2}$ – матрицы коэффициентов, с помощью которых производится настройка алгоритма адаптации; \mathbf{H} – матрица, которая должна удовлетворять уравнению Ляпунова [8]

$$\mathbf{H}\mathbf{A}\mathbf{m} + \mathbf{A}\mathbf{m}\mathbf{T}\mathbf{H} = -\mathbf{G}, \quad (7)$$

где \mathbf{G} квадратная матрица такая, что $\mathbf{G} = \mathbf{G}\mathbf{T} > 0$.

Применим изложенный выше подход к синтезу модели адаптивной САУ в среде Matlab/Simulink. Рассмотрим ОУ с «идеальными» параметрами, ОУ с отклонениями параметров и ЭМ, описываемые следующими уравнениями состояния в канонической форме управляемости [9]:

$$\begin{aligned} d\mathbf{X}/dt &= [0 \ 1; -1 \ -1]\mathbf{X} + [0 \ 1]\mathbf{T}u, \\ d\mathbf{X}_{\text{откл}}/dt &= [0 \ 1; -1 \ -0,6]\mathbf{X}_{\text{откл}} + [0 \ 1]\mathbf{T}u, \\ d\mathbf{X}_{\text{ЭМ}}/dt &= [0 \ 1; -1 \ -2]\mathbf{X}_{\text{ЭМ}} + [0 \ 1]\mathbf{T}g \end{aligned}$$

(во всех трех описаниях выход определяется одной и той же матрицей $\mathbf{C}=[1 \ 0]$).

Используя выражения (2), найдем параметры регулятора, при которых замкнутая система устойчива:

$$\mathbf{K}g^* = \mathbf{B}_m\mathbf{2}/\mathbf{B}_m\mathbf{2} = 1, \mathbf{K}\mathbf{X}^* = [(\mathbf{A}_m\mathbf{3} - \mathbf{A}\mathbf{3})/\mathbf{B}_m\mathbf{2} \ (\mathbf{A}_m\mathbf{4} - \mathbf{A}\mathbf{4})/\mathbf{B}_m\mathbf{2}] = [0 \ -1]. \quad (8)$$

Подставляя исходные данные и (8) в (6) и положив $\mathbf{G}\mathbf{1}=\gamma\mathbf{1}\mathbf{I}, \mathbf{G}\mathbf{2}=\gamma\mathbf{2}\mathbf{I}$, получаем

$$d\mathbf{K}\mathbf{X}/dt = -\gamma\mathbf{1}[0 \ 1]\mathbf{H}[\mathbf{E}\mathbf{1} \ \mathbf{E}\mathbf{2}]\mathbf{T}[\mathbf{X}\mathbf{1} \ \mathbf{X}\mathbf{2}], d\mathbf{K}g/dt = -\gamma\mathbf{2}(\mathbf{K}g)\mathbf{3}[0 \ 1]\mathbf{H}[\mathbf{E}\mathbf{1} \ \mathbf{E}\mathbf{2}]\mathbf{T} (g + [0 \ -1][\mathbf{X}\mathbf{1} \ \mathbf{X}\mathbf{2}]\mathbf{T}). \quad (9)$$

Для определения матрицы \mathbf{H} решим уравнение (7). Приняв $\mathbf{G} = [1 \ 0; 0 \ 2]$, получаем

$$\mathbf{H} = [7/4 \ 1/2; 1/2 \ 3/4]. \quad (10)$$

Подставляя (10) в (9), получаем следующее описание алгоритма адаптации:

$$\begin{aligned} d\mathbf{K}\mathbf{X}/dt &= -\gamma\mathbf{1}[0 \ 1] [7/4 \ 1/2; 1/2 \ 3/4] [\mathbf{E}\mathbf{1} \ \mathbf{E}\mathbf{2}]\mathbf{T}[\mathbf{X}\mathbf{1} \ \mathbf{X}\mathbf{2}] = \\ &= [-\gamma\mathbf{1}(1/2\mathbf{E}\mathbf{1} + 3/4\mathbf{E}\mathbf{2})\mathbf{X}\mathbf{1} \ -\gamma\mathbf{1}(1/2\mathbf{E}\mathbf{1} + 3/4\mathbf{E}\mathbf{2})\mathbf{X}\mathbf{2}], \\ d\mathbf{K}g/dt &= -\gamma\mathbf{2}(\mathbf{K}g)\mathbf{3}[0 \ 1] [7/4 \ 1/2; 1/2 \ 3/4] [\mathbf{E}\mathbf{1} \ \mathbf{E}\mathbf{2}]\mathbf{T} (g + [0 \ -1][\mathbf{X}\mathbf{1} \ \mathbf{X}\mathbf{2}]\mathbf{T}) = \\ &= -\gamma\mathbf{2}(\mathbf{K}g)\mathbf{3}(1/2\mathbf{E}\mathbf{1} + 3/4\mathbf{E}\mathbf{2})(g - \mathbf{X}\mathbf{2}). \end{aligned}$$

Структурные схемы, построенные в Simulink, реализующие полученный алгоритм адаптации, изображены на рис. 2 и 3. Начальные условия в интеграторах соответствуют выражениям (8).

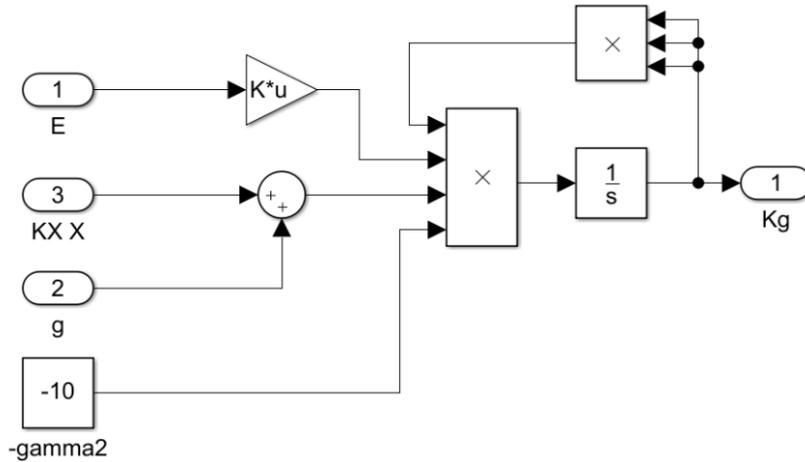


Рис. 2. Реализация алгоритма адаптации для коэффициента K_g регулятора

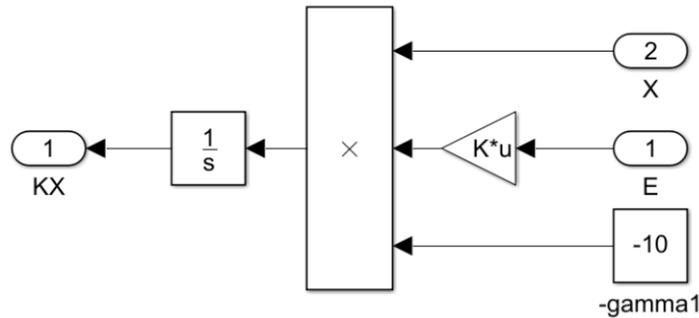


Рис. 3. Реализация алгоритма адаптации для коэффициента K_X регулятора

Для симуляции изменения структуры ОУ во время работы используется внешнее возмущение в виде ступенчатого воздействия, срабатывающее в момент $t=50$ с и переключающее матрицу A ОУ. Структурная схема, реализующая модель ОУ, изображена на рис. 4.

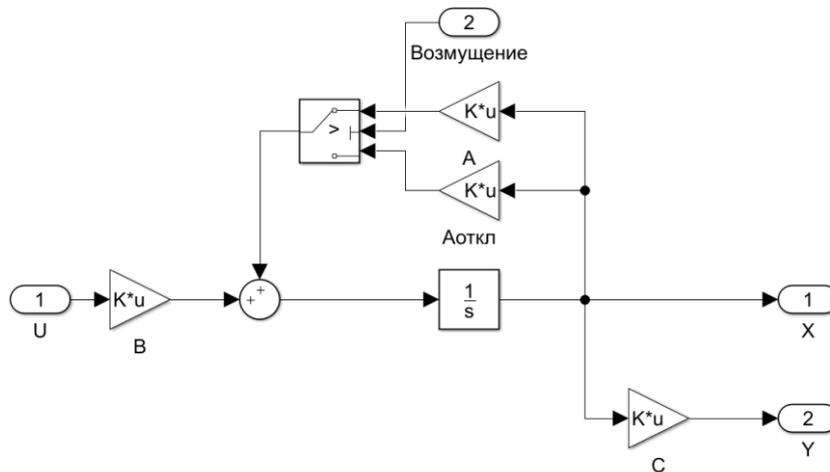


Рис. 4. Структурная схема ОУ

Общий вид структурной схемы полученной системы изображен на рис. 5.

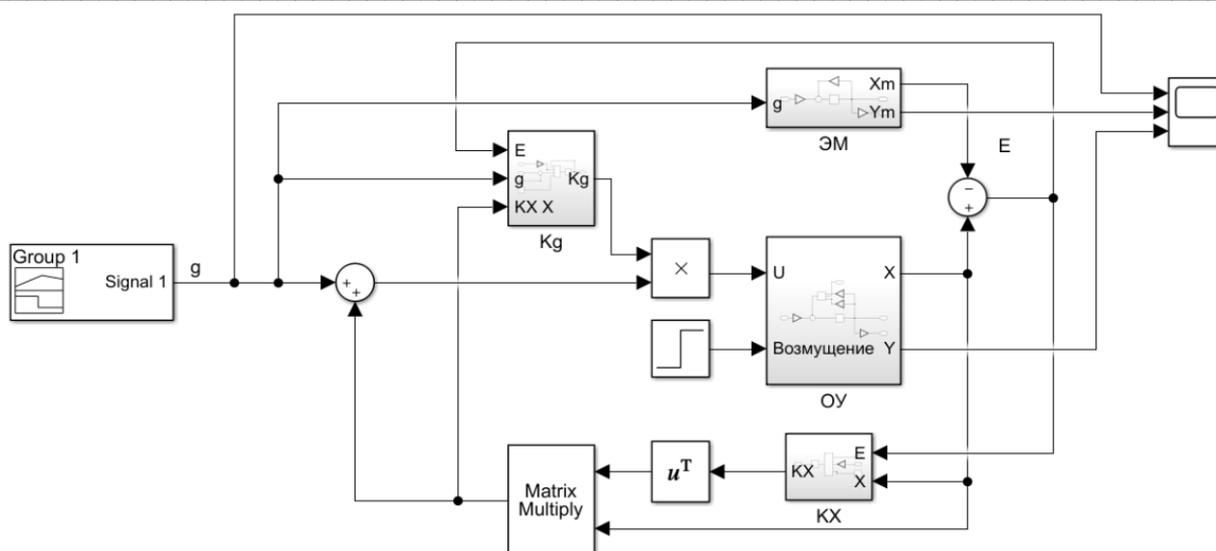


Рис. 5. Структурная схема адаптивной САУ в Simulink

Результаты моделирования при различных коэффициентах γ_1 и γ_2 изображены на рис. 6.

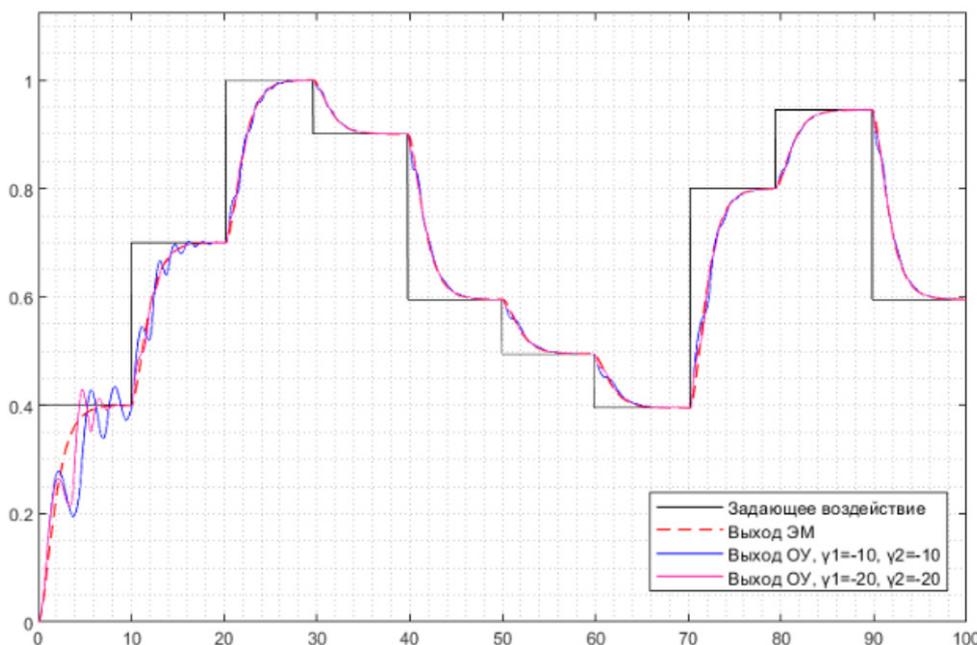


Рис. 6. Переходные процессы в системе при $\gamma_1=-10, \gamma_2=-10$ и $\gamma_1=-20, \gamma_2=-20$

Выводы

Из графиков на рис. 8 следует, что, во-первых, с каждым следующим переходным процессом качество работы алгоритма адаптации улучшается (начиная со второго переходного процесса отклонения значений выхода ОУ от выхода ЭМ не превышают пяти процентов); во-вторых, изменение параметров ОУ в момент времени $t=50$ с практически не влияет на отклонение выхода ОУ от выхода ЭМ; в-третьих, при увеличении коэффициентов γ_1 и γ_2 по модулю скорость адаптации возрастает. Таким образом, метод функций Ляпунова позволяет получить модель адаптивной САУ, обладающей высокой скоростью адаптации, которую можно регулировать путем вариации коэффициентов γ_1 и γ_2 .

Библиографический список

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 400 с.
2. Александровский Н. М. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами. М.: Энергия, 1973. 272 с.

3. *Ляпунов А. М.* Общая задача об устойчивости движения / Под ред. В. И. Левантовского. М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1950. 464 с.
4. *Андреев А. С.* Метод функций Ляпунова в решении задач управления // *Обозрение прикладной и промышленной математики*. 2008. № 4. С. 653–654.
5. *Жмудь В. А.* Адаптивные системы автоматического управления с единственным основным контуром // *Автоматика и программная инженерия*. 2014. № 2. С. 106–122.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник в 5 т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т. 5: Методы современной теории автоматического управления / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 784 с.
7. *Бард Й.* Нелинейное оценивание параметров. М.: Статистика, 1979. 349 с.
8. *Ким Д. П.* Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учеб. пособие. М.: Физматлит, 2004. 464 с.
9. *Деруссо П., Рой Р., Клоуз Ч.* Пространство состояний в теории управления. М.: Наука. 1970. 620 с.

УДК 621.313.333.2

К. А. Савкина

студентка кафедры электромеханики и робототехники

А. А. Мартынов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПРИВОДА ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

На данный момент электромобиль является одной из особо обсуждаемых технологических инноваций. Но все современные разработки принадлежат заграничным компаниям, а значит, что на территории России разработка электродвигателя для электромобиля все еще остается актуальной темой.

Рассмотрим привод электромобиля. Его основными частями являются аккумуляторные батареи, двигатель, редуктор и инвертор, преобразующий постоянный ток аккумуляторных батарей в переменный ток для двигателя, а также регулирующий частоту напряжения, благодаря чему происходит управление скоростью двигателя, а впоследствии и всего электромобиля.

Разберем асинхронный электродвигатель. Он представляет собой конструкцию из неподвижного статора и вращающегося ротора, а также воздушного зазора между ними. Заметим, что величина воздушного зазора варьируется в пределах 0,1–1,5 мм в зависимости от мощности двигателя.

На статоре и роторе выполняется обмотка. Обмотка статора подключается к инвертору и называется первичной, так как энергия сначала поступает в нее. В обмотку ротора энергия поступает из обмотки статора по средствам магнитной связи, потому она считается вторичной. То есть в обмотке статора протекает трехфазная система токов, которая создается из-за подаваемого переменного трехфазного напряжения. Обмотки статора и ротора в трехфазном асинхронном двигателе сдвинуты касательно друг друга в геометрическом отношении на 120 градусов, а поскольку в симметричной системе токи имеют фазовый сдвиг тоже в 120 градусов, то появляется электромагнитное поле, которое является неподвижным относительно ротора, но вращающимся относительно воздушного зазора.

Таким образом, проходя через обмотку ротора, электромагнитное поле индуцирует электродвижущую силу. Это способствует появлению тока в обмотке ротора, влияющего на магнитное поле, создаваемое статором. Энергия увеличивается, и ротор начинает вращаться посредством возникающей электромагнитной силы.

Также важно, чтобы скорость вращения электромагнитного поля ротора отличалась от поля статора, в противном случае не будет возникать электродвижущая сила, что приводит к отсутствию вращающегося момента и, следовательно, остановке ротора. Относительная разность скоростей ротора и поля статора называется скольжением. Номинальное скольжение обычно варьируется в пределах 2–8 %.

По устройству асинхронные двигатели делят на два вида: с короткозамкнутым ротором и с фазным ротором.

В данной статье будет рассмотрен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, представленный на рис. 1, так как на сегодняшний день это самый успешный вариант двигателя электромобиля, примером могут служить электромобили компании Tesla.

Короткозамкнутая обмотка ротора, часто называемая «беличье колесо» из-за внешней схожести конструкции, состоит из алюминиевых, реже медных или латунных стержней, замкнутых накоротко с торцов двумя кольцами, что представлено на рис. 2 [2].

Недостатками асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором можно считать малый пусковой момент, значительный пусковой ток, сильную зависимость электромагнитного момента от напряжения питающей сети и низкий коэффициент мощности. На данный момент времени самым современным решением устранения этих недостатков является питание двигателя от инвертора. Учитывая, что инвертор и так предусмотрен в приводе электромобиля, то можно считать все недостатки устраненными.

Среди достоинств асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором можно отметить простоту конструкции и изготовления, отсутствие трудностей в балансировке двигателя, механическую надежность, легкость в управлении, возможность выпуска на любые необходимые мощности, недорогую стоимость и невысокие эксплуатационные затраты.

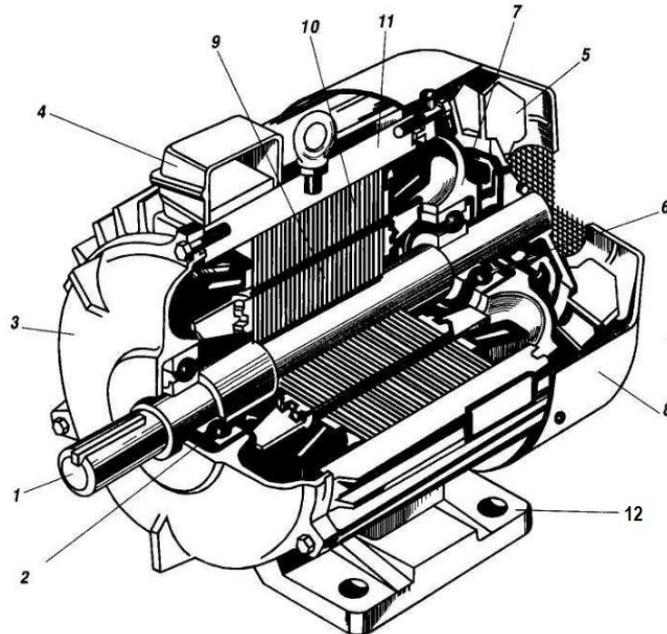


Рис. 1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разрезе: 1 – вал; 2, 6 – подшипники; 3, 7 – подшипниковые щиты; 4 – коробка выводов; 5 – вентилятор; 8 – кожух вентилятора; 9 – сердечник ротора с короткозамкнутой обмоткой; 10 – сердечник статора с обмоткой; 11 – корпус; 12 – лапы [1]

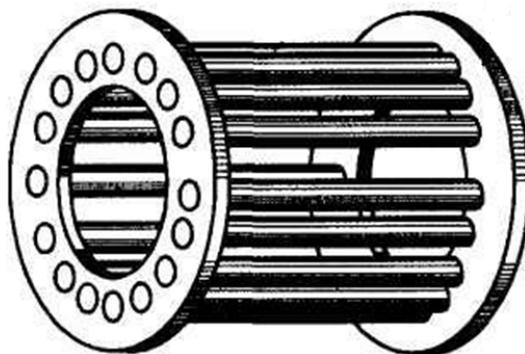


Рис. 2. Конструкция короткозамкнутого ротора «белчье колесо»

Также отметим, что в сравнении с двигателем внутреннего сгорания, самого распространенного в автомобилях, показатели шумности и вибрации у электродвигателя значительно ниже, а габариты меньше при той же мощности. Более того, техническое обслуживание и ремонт электродвигателя проще, а экономичность больше. К тому же электродвигатель совершенно не загрязняет окружающую среду, что делает его экологичным. А поскольку электродвигатель представляет собой устройство с двумя элементами, которые не соприкасаются друг с другом, так как статор и ротор имеют между собой воздушный зазор, то ресурс двигателя значительно увеличивается, а обслуживание требуется через большие время работы.

Важно подчеркнуть, что, в отличие от двигателя внутреннего сгорания, электродвигатель может выдавать максимальный вращающийся момент в более широком диапазоне оборотов. То есть максимальная скорость вращения электродвигателя может достигать 18 000 оборотов в минуту, данная информация соответствует электромобилю Tesla, в то время как двигатель внутреннего сгорания на 2,7 л может обеспечить максимум 7500 оборотов в минуту. Соответственно, электромобили способны достигать больших скоростей, чем автомобили с двигателем внутреннего сгорания, что позволяет им реализовываться не только как городской автомобиль, но и как гоночный.

Подводя итоги, можно сказать, что представленный в статье асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором является одним из наилучших двигателей, предназначенных для исполь-

зования в электромобилях. Более того, электродвигатели как таковые обладают множеством преимуществ по отношению к двигателям внутреннего сгорания, самых часто встречаемых в автомобилях на сегодняшний день. Таким образом, электродвигатель является неотъемлемой частью нашего высокотехнологического будущего, развитие которого происходит уже сейчас. А значит, и разработка электродвигателя для электромобиля в России не просто актуально, а необходимо.

Библиографический список

1. Конструкция асинхронного двигателя. URL: <https://electrobox.su/raznoe/konstruktsiya-asinhronnogo-dvigatelya.html> (дата обращения: 14.12.2021).

2. Асинхронный двигатель. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%B0%D1%88%D0%B8%D0%BD%D0%B0#%D0%90%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%85%D1%80%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D1%81_%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B7%D0%B0%D0%BC%D0%BA%D0%BD%D1%83%D1%82%D1%8B%D0%BC_%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BC (дата обращения: 14.12.2021).

3. Tesla. Induction Versus DC Brushless Motors. URL: <https://www.tesla.com/blog/induction-versus-dc-brushless-motors> (дата обращения: 14.12.2021).

УДК 62-503.51

А. А. Свиридова

студентка кафедры автоматизированных технологических систем

О. Н. Крахмалев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АЛГОРИТМ СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ 3DOF РОБОТА НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ КИНЕМАТИКИ

Введение

Задача стабилизации положения и ориентации тела в пространстве является актуальной и привлекает внимание множества исследователей. Это не удивительно, так как сейчас большому множеству движущихся объектов (автомобили, летательные аппараты и др.) требуется принимать те или иные решения на основе поступающей информации (линейные и угловые перемещения).

Как известно, твердое тело, движущееся в трехмерном пространстве, имеет 6 степеней свободы: 3 поступательных и 3 вращательных движения относительно осей координат XYZ. В данной работе ставится и решается задача стабилизации объекта по 3 координатам без учета углов поворота с помощью 3DOF манипулятора на основе решения обратной задачи кинематики.

Разработка математической модели. Прямая задача кинематики

Для решения как прямой, так и обратной задачи кинематики необходимо предварительно составить математическую модель манипуляционной системы (МС).

Для определения положения МС в пространстве используем метод двух связанных систем координат [1].

Пронумеруем звенья от основания манипуляционной системы. С каждым звеном необходимо связать две системы координат (СК), поместив их начала в центрах кинематических пар (КП). Для описания рабочего пространства и движения МС в нем используем неподвижную СК S_0 . Систему координат S_0^* жестко свяжем с неподвижным основанием. Начало этой системы поместим в центр первой КП, а оси этой СК направим аналогично осям S_0 .

В центре КП, соединяющей i -е и $(i-1)$ -е звенья, поместим СК $S_i(X_i, Y_i, Z_i)$, ось Z_i которой направим вдоль относительного движения i -е и $(i-1)$ -е звеньев. Если эта ось перпендикулярна прямой, соединяющей центры КП i -го звена, то ось X_i направляется по этой прямой. В центре КП i -го и $(i+1)$ -го звеньев поместим СК $S_i^*(X_i^*, Y_i^*, Z_i^*)$. Оси X_i^* , Y_i^* и Z_i^* направим так, чтобы системы S_i^* и $S_{(i+1)}$ совпали в исходном положении МС.

В точке TCP (Tool Center Point) выходного звена поместим начало СК $S_m^*(X_m^*, Y_m^*, Z_m^*)$ (m – число звеньев манипуляционной системы). Ось X_m^* расположим в продольном направлении по оси симметрии схвата. Таким образом, орты этой СК определяют ориентацию схвата в пространстве.

Задав СК S_0, S_0^*, S_i, S_i^* и S_m^* , связанных со звеньями, становится возможным описать рабочее пространство МС, задать в нем траектории движения и ориентацию звеньев (рис. 1).

Положение МС в пространстве может быть определено матрицами преобразования однородных координат, имеющих размерность (4×4) и определяющих взаимное положение систем S_i и S_i^* , $i = (1, \dots, m)$.

$$A_{i,j^*} = \begin{bmatrix} \cos(X_i, X_{i^*}) & \cos(X_i, Y_{i^*}) & \cos(X_i, Z_{i^*}) & l_{xi} \\ \cos(Y_i, X_{i^*}) & \cos(Y_i, Y_{i^*}) & \cos(Y_i, Z_{i^*}) & l_{yi} \\ \cos(Z_i, X_{i^*}) & \cos(Z_i, Y_{i^*}) & \cos(Z_i, Z_{i^*}) & l_{zi} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_i & L_i \\ f & w \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где $\cos(X_i, X_{i^*})$ и т. д. – косинусы углов между соответствующими осями ординат (являются элементами матрицы вращения R_i размерности 3×3); L_i – 3×1 – вектор переноса; f – 1×3 – вектор-столбец перспективной проекции; w – 1×1 -матрица масштабирования (растяжения) [2, с. 86].

При составлении матриц $A_{(i-1)^*,i}$, $i = 1 \dots m$ необходимо учитывать правило знаков для обобщенных координат [1, с. 31].

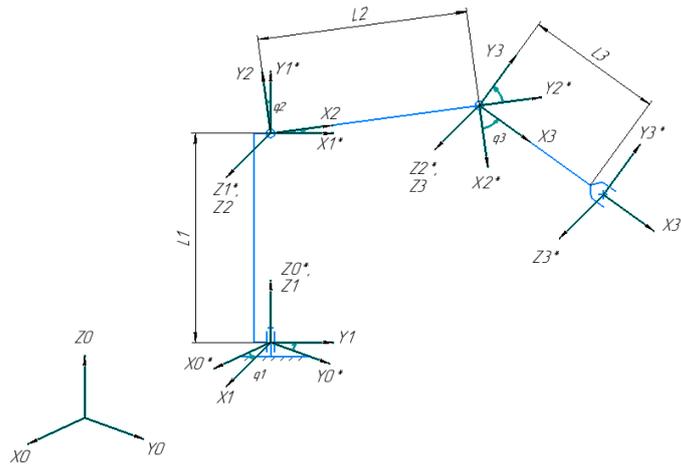


Рис. 1. Кинематическая схема 3DOF

Матрица $A_{(i-1),i}$, которая определяет относительное положение двух соседних звеньев, может быть представлена произведением матриц:

$$A_{(i-1),i} = A_{(i-1),(i-1)^*} \cdot A_{(i-1)^*,i}. \quad (2)$$

А матрица преобразования однородных координат из СК S_m , связанной с m -м звеном, в неподвижную СК S_0 может быть определена как последовательность произведений матриц $A_{(i-1),i}$, $i = 1 \dots m$ (в нашем случае $m = 3$):

$$A_{0,m} = \prod_{i=1}^{m=3} A_{(i-1),i} = A_{0,1} \cdot A_{1,2} \cdot A_{2,3}. \quad (3)$$

Опираясь на решение задачи преобразования систем координат [3, с. 57] и получение уравнения, определяющего абсолютные координаты точки P m -го звена в неподвижной СК S_0 [1, с. 46], определим функцию положения точки:

$$r_P^{(0)} = A_{0,m}(q) \cdot r_P^{(m)}. \quad (4)$$

Решение данного уравнения при заданном векторе обобщенных координат q есть решение прямой задачи кинематики.

Обратная задача кинематики

Определим аналитическим методом взаимосвязь между обобщенными координатами выбранной нами МС и тремя wybranными параметрами. Продифференцируем функцию положения (4):

$$dr_0 = \sum_{i=1}^m \frac{\partial A_{0,m} r_m}{\partial q_i} dq_i. \quad (5)$$

Заменив в (5) дифференциалы малыми приращениями обобщенных координат Δq_i , получим (подставляя $m = 3$):

$$\begin{bmatrix} i_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_1} & i_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_2} & i_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_3} \\ j_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_1} & j_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_2} & j_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_3} \\ k_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_1} & k_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_2} & k_0^T \frac{\partial A_{0,3} r^{(3)}}{\partial q_3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \\ \Delta q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}, \quad (6)$$

где $i_0^T = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$, $j_0^T = [0 \ 1 \ 0 \ 0]$, $k_0^T = [0 \ 0 \ 1 \ 0]$ – орты.

Запишем развернутое матричное уравнение (6) в символьном виде:

$$\{J\}\{\Delta q\} = \{\Delta X\}, \quad (7)$$

где $\{J\}$ – матрица Якоби размерностью (3×3) ; $\{\Delta q\}$ – вектор приращения обобщенных координат; $\{\Delta X\}$ – вектор приращения положения конечного звена.

Допустим, что определитель матрицы Якоби не равен 0, тогда уравнение (7) можно решить с помощью численных методов решения систем линейных алгебраических уравнений.

Решим систему методом обратной матрицы. Из уравнения выразим Δq : умножим обе части матричного уравнения слева на J^{-1}

$$\{\Delta q\} = \{J\}^{-1}\{\Delta X\}. \quad (8)$$

Таким образом, если в k -й момент времени обобщенные координаты $\{q^k\}$ известны, то для следующего момента времени $k+1$ обобщенные координаты $\{q^{k+1}\}$ могут быть определены так:

$$\{q^{k+1}\} = \{q^k\} + [J(q^k)]^{-1}\{f(q^{k+1}) - f(q^k)\}. \quad (9)$$

Алгоритм

Предположим, что в данный момент времени нам известно какое положение в пространстве принял манипулятор относительно изначального положения в СК S_0 . То есть имеем координаты смещения X_s, Y_s, Z_s .

Координаты TCP манипулятора в изначальном положении описываются радиус-вектором $r^{(0)}$; в смещенном положении – $r_s^{(0)}$ (рис. 2, а). Таким образом, можно получить Δr :

$$\Delta r = r^{(0)} - r_s^{(0)}$$

где $r^{(0)} = A_{0,3}^0 r^{(3)}$, $r_s^{(0)} = A_{0,3}^s r^{(3)}$. Тогда:

$$\begin{aligned} \Delta r &= (A_{0,3}^0 - A_{0,3}^s)r^{(3)} \\ A_{0,3}^s r^{(3)} &= A_{0,3}^0 r^{(3)} - \Delta r \end{aligned} \quad (10)$$

Сравнивая множители матриц $A_{0,3}^0$ и $A_{0,3}^s$ (см. 3), отмечаем, что отличаться будет только матрица $A_{0,0}^*$. При смещении МС она примет вид:

$$A_{0,0}^* = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X_0 + X_s \\ 0 & 1 & 0 & Y_0 + Y_s \\ 0 & 0 & 1 & Z_0 + Z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где X_0, Y_0, Z_0 – координаты 1 звена относительно неподвижной СК S_0 .

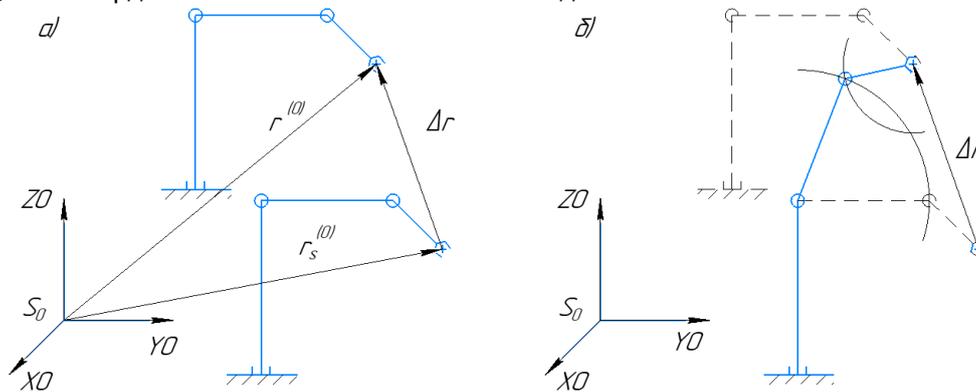


Рис. 2. Координаты TCP манипулятора

Как итог, зная координаты изначальной точки и координаты ТСР манипулятора после смещения, построив траекторию движения, можно вернуть ТСР манипулятора в изначальную точку, что иллюстрируется рис. 2, б).

Разработка алгоритма решения задачи

Для моделирования движения МС на основе метода решения обратной задачи кинематики разработан алгоритм для создания программного обеспечения (ПО). При разработке ПО использовался язык программирования C++, реализованный в среде программирования Microsoft Visual Studio (рис. 3).

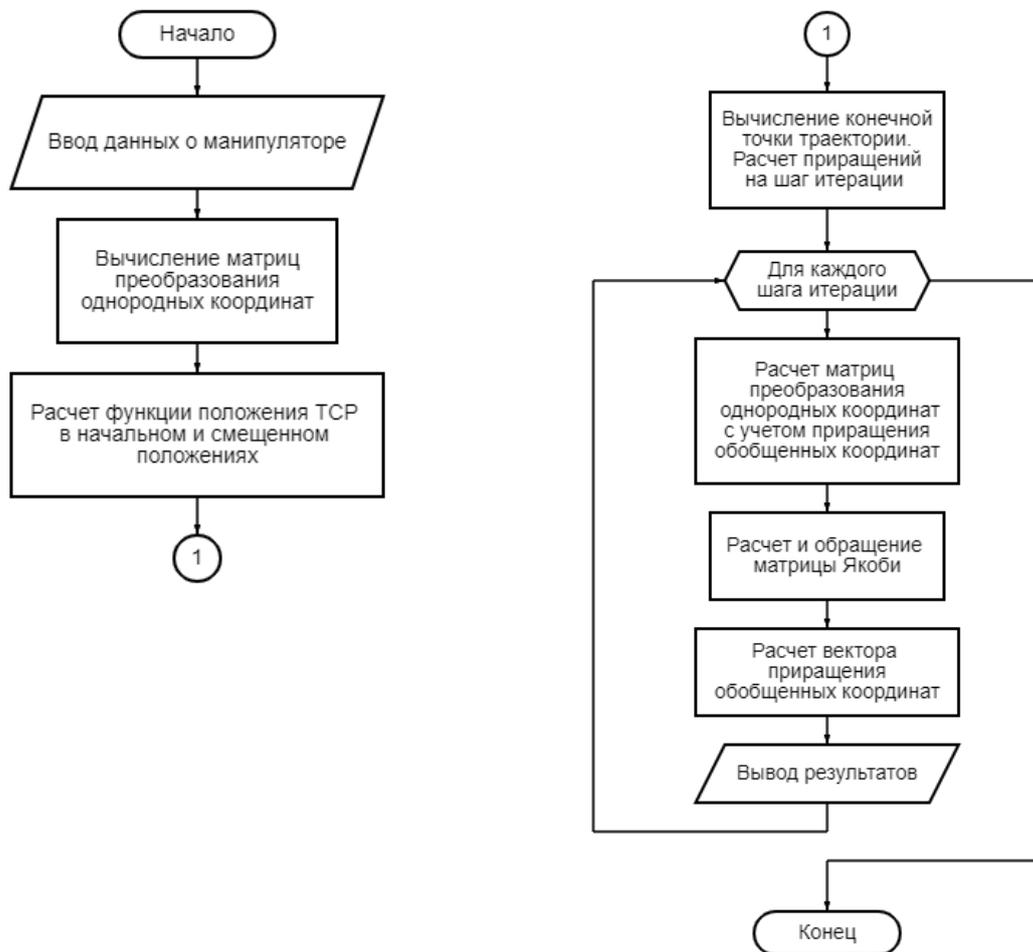


Рис. 3. Блок-схема алгоритма работы программы

Проверка результатов

Для проверки результатов, полученных с помощью ПО, построим начальное и конечное положения МС при заданном смещении ее основания.

Входные данные для ПО: длины звеньев ($L1, L2, L3$); углы поворота звеньев ($q1, q2, q3$); количество шагов итерации (N); координаты смещения (x_s, y_s, z_s).

Задавшись значениями $L1 = 100, L2 = 200, L3 = 300, q1 = 0, q2 = 0, q3 = 0, N = 30, x_s = 0, y_s = 0, z_s = -40$, получим следующие данные, выведенные в .txt файл (рис. 4, а):

Пользуясь САД системой КОМПАС 3D, построим МС в начальном положении, то есть звенья расположены под прямым углом друг к другу. Отметив смещение по оси Z, отложим $L3$ на окружности радиусом $L2$, найдя таким образом конечное положение 2-го звена. От конечного положения звена 2 перпендикулярно отложим $L3$, то есть положение 3-го звена без учета его смещения. Отметим углы между двумя положениями звеньев (рис. 4, б).

Знак «минус» обобщенной координаты $q3$ на рис. 4, а объясняется тем, что поворот третьего звена вокруг шарнира осуществляется по часовой стрелке.

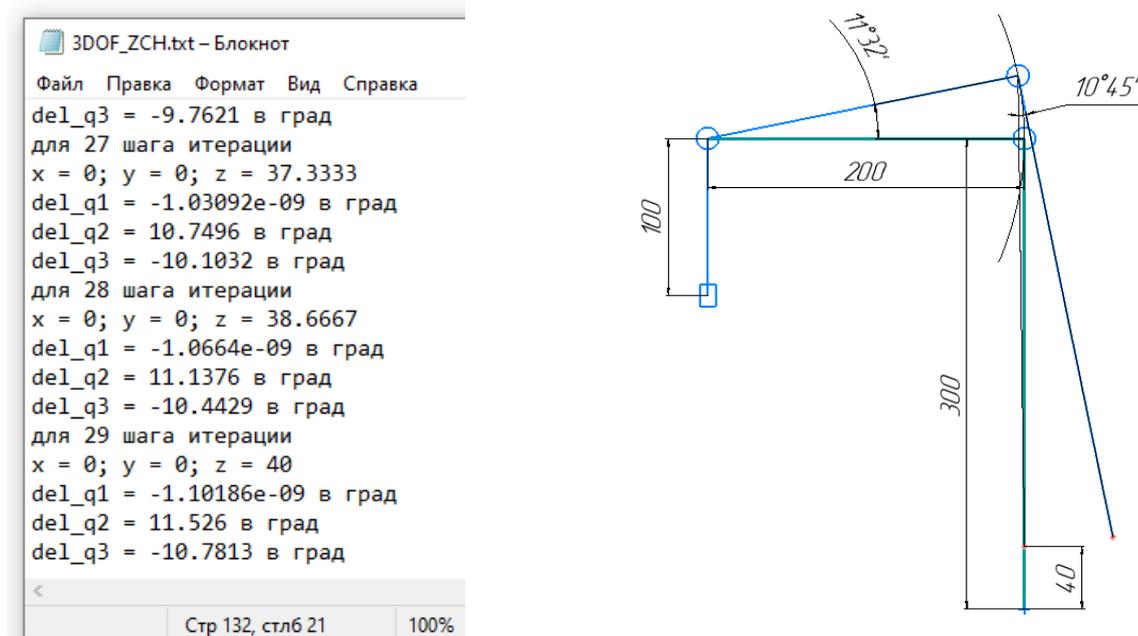


Рис. 4. Проверка результатов: а – вывод данных в файл; б – геометрическое построение

Сравнивая значения углов поворота, полученных с помощью ПО и графическим методом, отмечаем погрешность расчетов программы. Это объясняется погрешностью решения СЛАУ (систем линейных алгебраических уравнений) методом обратной матрицы и малым шагом итерации.

Заключение

В данной работе представлен алгоритм, позволяющий разработать ПО для решения задачи стабилизации положения 3DOF робота, построенного на основе решения обратной задачи кинематики на примере трехзвенного манипулятора.

По результатам графического построения в CAD-системе выбранной схемы трехзвенного манипулятора и сравнения с этими построениями углов поворота шарниров, вычисленных с помощью написанного ПО, можно сделать вывод об адекватности разработанного алгоритма.

Библиографический список

1. Крахмалев О. Н. Точность управляемого движения промышленных роботов и многокоординатных станков: монография. Брянск: БГТУ, 2015. 236 с.
2. Шахинпур М. Курс робототехники / Пер. с англ. М.: Мир, 1990. 527 с.
3. Зенкевич С. Л., Ющенко А. С. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004. 480 с.

К. А. Семенов

студент кафедры управления в технических системах

В. А. Голубков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ****Введение**

Алгоритмы распознавания технической диагностики базируются на диагностических моделях, которые устанавливают связь между состояниями технической системы и их отображение в пространстве признаков. Важной частью проблемы распознавания является правило принятия решений. Они выбираются оптимальным образом и базируются на минимизации функции риска или потерь. Приведем основные методы распознавания технического состояния объектов [1].

Метод последовательного анализа

В методе последовательного анализа неизвестно количество обследования какого-либо объекта. Используется для классификации на два состояния (исправное состояние D_1 , неисправное состояние D_2). В основе метода лежат два отношения

$$\frac{p(D_1 | K^*)}{p(D_2 | K^*)} = \frac{p(D_2)p(K_1^* | D_2)p(K_2^* | D_2)...p(K_v^* | D_2)}{p(D_1)p(K_1^* | D_1)p(K_2^* | D_1)...p(K_v^* | D_1)}, \quad (1.1)$$

где $p(D_1 | K^*)$ – условная вероятность появления диагноза D_1 при появлении признака; K^* – вектор признаков.

Принимаются пороги принятия решения A и B , если

$$\begin{aligned} \frac{p(K_1^* | D_2)p(K_2^* | D_2)...p(K_v^* | D_2)}{p(K_1^* | D_1)p(K_2^* | D_1)...p(K_v^* | D_1)} &> A, K^* \in D_2 \\ \frac{p(K_1^* | D_2)p(K_2^* | D_2)...p(K_v^* | D_2)}{p(K_1^* | D_1)p(K_2^* | D_1)...p(K_v^* | D_1)} &< B, K^* \in D_1 \\ B < \frac{p(K_1^* | D_2)p(K_2^* | D_2)...p(K_v^* | D_2)}{p(K_1^* | D_1)p(K_2^* | D_1)...p(K_v^* | D_1)} < A, &\text{принятие решения откладывается} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Этот метод справедлив для непрерывного распределения параметров, то в отношениях правдоподобия будут фигурировать условные плотности распределения.

Метод статистических решений

В нем решающее правило выбирается исходя из нескольких условий оптимальности, например, из условия минимизации функции риска, то есть вводится определенная функция, которая описывает потери от принятия неправильных решений и минимизируется. Невозможно избежать ошибочного решения, так как графики плотностей вероятностей пересекаются, задача состоит в выборе оптимального x_0 .

Рассмотрим возможность ошибки при принятиях решения

H_{12} – в пользу D_1 , если было D_2 (пропуск цели);

H_{21} – в пользу D_2 если было D_1 (ложная тревога);

H_{11}, H_{22} – правильные диагнозы;

$$p(H_{21}) = p(D_1) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx \quad (1.3)$$

$$p(H_{12}) = p(D_2) \int_{\infty}^{x_0} f(x | D_2) dx, \quad (1.4)$$

где x_0 – пороговое значение принятия решения; $p(D_1), p(D_2)$ – вероятности появления диагнозов D_1, D_2 , обозначим для простоты их P_1 и P_2 соответственно; $f(x|D_1), f(x|D_2)$ – функции плотности распределения.

Рассмотрим функцию среднего риска.

Вероятность принятия ошибочного решения складывается из вероятности ложной тревоги и пропуска цели. Принимаются определенные штрафы, санкции за неправильные решения. В случае ложной тревоги C_{21} , в случае пропуска цели C_{12}

R – функция риска

$$R = C_{21}p(H_{21}) + C_{12}p(H_{12}), \quad (1.5)$$

где $C_{12} \gg C_{21}$ в задачах надежности.

Иногда вводят цены за принятие правильных решений C_{11}, C_{22} , как правило, они меньше нуля. Тогда с учетом (1.3), (1.4) полная формула функции риска

$$R = C_{21}p(D_1) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx + C_{12}p(D_2) \int_{\infty}^{x_0} f(x | D_2) dx + C_{11}p(D_1) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx + C_{22}p(D_2) \int_{\infty}^{x_0} f(x | D_2) dx \quad (1.6)$$

Метод минимизации риска

В данном методе пороговое значение x_0 находится из условия минимизации средней функции риска (6)

$$\frac{dR}{dx_0} = 0 \quad (1.7)$$

получаем:

$$\frac{f(x_0 | D_1)}{f(x_0 | D_2)} = \frac{(C_{12} - C_{22}) p(D_2)}{(C_{21} - C_{11}) p(D_1)} = A \quad (1.8)$$

Отсюда:

$$\begin{cases} X \in D_1, \text{ если } \frac{f(x | D_1)}{f(x | D_2)} > A \\ X \in D_2, \text{ если } \frac{f(x | D_1)}{f(x | D_2)} < A \end{cases} \quad (1.9)$$

Метод минимального числа ошибок

Используется в том случае, когда сложно определить функцию штрафа. Тогда вероятность ошибки определяется следующим образом:

$$P_{\text{ош}} = p(D_1) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx + p(D_2) \int_{\infty}^{x_0} f(x | D_2) dx \quad (1.10)$$

Затем минимизируется эта функция:

$$\frac{dP_{\text{ош}}}{dx_0} = 0 \quad (1.11)$$

По аналогии с методом минимизации риска получим:

$$\begin{cases} X \in D_1, \text{ если } \frac{f(x | D_1)}{f(x | D_2)} > A \\ X \in D_2, \text{ если } \frac{f(x | D_1)}{f(x | D_2)} < A \end{cases} \quad (1.12)$$

Только $A = \frac{p(D_2)}{p(D_1)}$

Метод минимакса

Используется тогда, когда отсутствуют предварительные статистические данные о вероятностях диагнозов D_1, D_2 . Рассматривается наихудший случай, то есть наименее благоприятные значения P_1 и P_2 , приводящие к наибольшему значению риска. При этих P_1 и P_2 мы будем минимизировать максимальный риск. Будем считать, что величина риска зависит от x_0 и вероятности диагноза ($x_0; P_1$ и $P_2 = 1 - P_1$) Тогда функция риска переписывается в следующем виде:

$$\begin{aligned} R(x_0, P_1) = & C_{21}p(D_1) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1)dx + C_{12}(1 - p(D_1)) \int_{-\infty}^{x_0} f(x | D_2)dx + C_{11}p(D_1) \\ & \int_{-\infty}^{x_0} f(x | D_1)dx + C_{22}(1 - p(D_1)) \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_2)dx \end{aligned} \quad (1.13)$$

Требуется минимизация как по x_0 , так и по P_1

$$\begin{aligned} \frac{dR}{dx_0} &= 0, \\ \frac{dR}{dP_1} &= 0, \end{aligned} \quad (1.14)$$

Получим функцию:

$$\phi(x_0) = F_1(x_0)[C_{11} - C_{21}] + F_2(x_0)[C_{22} - C_{12}] + C_{21} - C_{22}, \quad (1.15)$$

где $F_1(x) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x - \bar{x}_1}{\sigma}\right)$, $F_2(x) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{x - \bar{x}_2}{\sigma}\right)$, $\Phi(x) = \int_0^x e^{-t^2/2} dt$ – функция Лапласа.

Решение надо искать с помощью метода Ньютона второго порядка по соотношению

$$x_{0(n+1)} = x_{0n} - \frac{\phi(x_{0n})}{\phi'(x_{0n})}, \quad (1.16)$$

где $\phi'(x_0) = f(x_0 | D_1)[C_{11} - C_{21}] + f(x_0 | D_2)[C_{22} - C_{12}]$.

Принимается условие остановки $|x_{0(n+1)} - x_{0n}| \leq \varepsilon$, если оно выполняется, то эту точку принимают оптимальной для разделения объектов на классы. Вероятность P_1^* , при которой риск возрастает до максимума, находят из выражения

$$P_1^* = \frac{(C_{22} - C_{12})f(x_0^* | D_2)}{C_{11}f(x_0^* | D_1) - C_{21}f(x_0^* | D_1) - C_{12}f(x_0^* | D_2) + C_{22}f(x_0^* | D_2)}. \quad (1.17)$$

В соответствии с этими выражениями все объекты относят к тому или иному классу [2].

Метод Неимана – Пирсона

Часто оценки стоимости ошибок бывают неизвестны и их достоверное определение связано с большими трудностями, желательно минимизировать значение ложной тревоги. Задаются вероятностью пропуска цели и минимизируют вероятность ложной тревоги и наоборот.

$$P_{л.м} = P_1 \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx \leq A. \quad (1.18)$$

Это выражение полной вероятности ложной тревоги, но зачастую неизвестно и значение P_1 , тогда задаются условной вероятностью:

$$P_{л.м} = \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx \leq A. \quad (1.19)$$

Как и в методе минимакса строиться вспомогательная функция

$$\phi(x) = \int_{x_0}^{\infty} f(x | D_1) dx - A = 1 - F_1(x_0) - A. \quad (1.20)$$

Затем методом Неимана как и в методе минимакса находят x_0

$$x_{0(n+1)} = x_{0n} - \frac{\phi(x_{0n})}{\phi'(x_{0n})}$$

только здесь

$$\phi'(x_0) = -f(x_0 | D_1). \quad (1.21)$$

Решающее правило описано выражением

$$|x_{0(n+1)} - x_{0n}| \leq \varepsilon, \quad (1.22)$$

а первое приближение берется из выражения

$$x_{0(1)} = \frac{\bar{x}_1 + \bar{x}_2}{2}, \quad (1.23)$$

где \bar{x}_1, \bar{x}_2 - среднее математическое значение каждого объекта.

Параметр A выбирается из соотношения

$$A = kP_2, \quad (1.24)$$

где k – коэффициент избыточности ($1 \div 3$, но может быть и больше).

В задачах технической диагностики допустимо задаваться вероятностью пропуска цели, минимизируя при этом ложную тревогу.

$$P_{н.ц} = P_2 \int_{-\infty}^{x_0} f(x | D_2) dx \leq B. \quad (1.25)$$

Все аналогично первому случаю только

$$B = \frac{1}{kN}, \quad (1.26)$$

где $k=1 \div 10$, N – число изделий, находящихся в эксплуатации.

Хотелось бы сказать, что данные методы справедливы и для случаев, когда диагнозов больше, чем два. Тогда в формулы добавляются дополнительные компоненты, в частности, различные границы разделения между диагнозами.

Мною в работе выбран метод разделения на классы при помощи дискриминантной функции, построенной на основе теории решений. Преимущество в том, что, выдавая решения по нескольким классам одновременно, удастся избежать пересечения решающих границ в пространстве. Минусом, пожалуй, можно считать, то что если отсутствует априорная информация об объекте, то не составить весовые коэффициенты ω_j , но тогда можно применить алгоритм обучения машины, который подробно рассмотрен в [2, с. 63]. В нашем случае такая информация дана в техническом задании на проектирование поэтому мы занесем их в память микроконтроллера. Далее выберем оптимальный способ получения решения.

Дискриминантные функции, получаемые на основе теории решений

Если распределения известны заранее, то для получения дискриминантных функции можно использовать статистическую теорию решений [1]. Основным в теории решении является определение функций потерь $\lambda(i/j)$ при $i, j=1, \dots, R$, представляет потери, которые возникают, когда машина относит к i -му классу объект, в действительности принадлежащий j -му классу. Цель создать такую машину, которая бы минимизировала бы среднюю величину $\lambda(i/j)$.

Если машина так классифицирует объекты, что потери для каждого из них минимальны, то величина средних потерь, усредненных по всем объектам, тоже будет минимальна. Поэтому оптимальная машина выполняет классификацию следующим образом:

в машину поступает объект X .

машина подсчитывает $L_x(i), i=1, \dots, R$.

машина относит объект X к такому классу i_0 , для которого $L_x(i_0) \leq L_x(i), i=1, \dots, R$.

Описанное правило предполагает очевидную систему дискриминантных функций, а именно $L_x(i)$. Однако с помощью некоторых дополнительных преобразований для специального вида функции потерь можно получить систему эквивалентных, но более простых дискриминантных функций. Эти упрощения приводятся в следующем пункте.

Правило Байеса

Согласно правилу Байеса

$$p(j | X) = \frac{p(X | j)p(j)}{p(X)}, \tag{1.27}$$

где $p(X|j)$ – вероятность появления объекта X при условии, что он принадлежит j -му классу;

$p(j)$ – априорная вероятность появления объекта из j -го класса;

$p(X)$ – вероятность появления объекта X .

Можно записать функцию условных средних потерь в виде:

$$L_x(i) = \frac{1}{p(x)} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^R \lambda(i | j)p(X | j)p(j). \tag{1.29}$$

Заметим, что множитель $1/p(X|j)$ является общим для всех $L_x(i), i=1, \dots, R$. Поэтому значение i , которое для любого данного объекта X минимизирует $L_x(i)$, также минимизирует и выражение

$$I(x) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^R \lambda(i | j)p(X | j)p(j), \tag{1.30}$$

то есть оптимальную классифицирующую машину можно реализовать путем подсчета и сравнения величин $I_x(i)$. Расчеты значительно упрощаются, если функцию потерь $\lambda(i/j)$ выбрать в виде:

$$\lambda(i | j) = 1 - \delta_{ij}, \tag{1.31}$$

где δ_{ij} – символ Кронекера равный

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases}$$

То есть предполагается, что мы теряем единицу, если есть ошибка классификации. Такую функцию потерь называют симметричной функцией потерь (в общем случае $\lambda(i|j) = \lambda(j|i)$)

Подстановка выражения (4) в (3) дает

$$I_x(i) = p(X) - p(X | i)p(i). \tag{1.32}$$

Это выражение минимизируется по i максимизацией члена $p(X|i)p(i)$. Решение в пользу i -го класса, где i максимизирует этот член, минимизирует средние потери. Можно сказать, что такое решающее правило также минимизирует вероятность ошибочной классификации. Если априорные вероятности классов равны, то есть $p(i) = 1/R, i = 1, \dots, R$, то машине подсчитывать только $p(X|i), i = 1, \dots, R$, и выбрать i , максимизирующее это выражение. Такое решение называется решением по максимуму правдоподобия.

Итак, для симметричной функции потерь подход с точки зрения теории решения дает дискриминантные функции, которые можно просто выразить через $p(X|i)$ и $p(i)$, при $i = 1, \dots, R$. В частности, для этой функции потерь Дискриминантные функции можно выразить в виде:

$$f_i(X) = p(X | i)p(i), i = 1, \dots, R. \tag{1.33}$$

Удобной формой записи этой формулы является

$$f_i(X | i) = \log p(X | i) + \log p(i), i = 1, \dots, R, \tag{1.33.a}$$

которое приводит к тому же решению, так как логарифмическая функция является монотонно возрастающей.

В нашем случае будут классифицироваться объекты, состоящие из d двоичных компонент (каждая компонента x_i может принимать лишь два значения, 1 или 0) и число классов будет равным двум, то есть $R=2$ (либо есть дефект, либо нет).

Для данного варианта приняты следующие упрощения:

1 $\lambda(i|j)$ функция потерь является симметричной;

объекты обоих классов имеют статистически независимые компоненты;

мы обладаем априорной информацией об объекте.

Поэтому целесообразно выбрать схему порогового логического блока.

Определим дискриминантную функцию в виде:

$$f(X) = f_1(X) - f_2(X). \tag{1.34}$$

Если $f(X) > 0$, то машина относит объект X к первому классу (нет дефекта), если же $f(X) < 0$, то объект относится ко второму классу (есть дефект). Используя равенство (6. а), получим

$$f(X) = \log \left[\frac{p(X | 1)}{p(X | 2)} \right] + \log \left[\frac{p(1)}{p(2)} \right] = \log \left[\frac{p(X | 1)}{p(X | 2)} \right] + \log \left[\frac{p(1)}{1 - P(1)} \right]. \tag{1.35}$$

Предположение о том, что объекты обоих классов имеют статистически независимые компоненты, позволяет записать

$$p(X|j) = p(x_1 | j) p(x_2 | j) p(x_3 | j) \dots p(x_d | j), j = 1, \dots, R \tag{1.36}$$

величины $p(x_i | j), j = 1, 2; i = 1, \dots, d$ являются параметрами распределений $p(X|i)$ подстановка в дает

$$f(X) = \sum_{i=1}^d \log \left[\frac{p(x_i | 1)}{p(x_i | 2)} \right] + \log \left[\frac{p(1)}{1 - P(1)} \right] \tag{1.37}$$

Для удобства обозначим:

$$\begin{aligned} p(x_i=1|1) &= p_i \\ p(x_i=0|1) &= 1-p_i \\ p(x_i=1|2) &= q_i \\ p(x_i=0|2) &= 1-q_i, \quad i=1, \dots, d \end{aligned} \quad (1.38)$$

Так как мы приняли, что x_i может принимать только значения 0 или 1, то

$$\log \left[\frac{p(x_i | 1)}{p(x_i | 2)} \right] = x_i \log \left[\frac{p_i(1-q_i)}{q_i(1-p_i)} \right] + \log \left[\frac{1-p_i}{1-q_i} \right] \quad (1.39)$$

Подстановка выражения (12) в (10) дает

$$f(X) = \sum_{i=1}^d x_i \log \left[\frac{p_i(1-q_i)}{q_i(1-p_i)} \right] + \sum_{i=1}^d \log \left[\frac{1-p_i}{1-q_i} \right] + \log \left[\frac{p(1)}{1-P(1)} \right]. \quad (1.40)$$

Как и оговаривалось выше применяется идея порогового логического блока [1] (ПЛБ). Весовые коэффициенты в котором:

$$\begin{aligned} \omega_i &= \log \left[\frac{p_i(1-q_i)}{q_i(1-p_i)} \right] \\ \omega_{d+1} &= \sum_{i=1}^d \log \left[\frac{1-p_i}{1-q_i} \right] + \log \left[\frac{p(1)}{1-P(1)} \right]. \end{aligned} \quad (1.41)$$

Исследование уравнения и для некоторых предельных случаев показывает, что дискриминантная функция естественным образом зависит от соответствующих вероятностей. Например, отметим, что априорные вероятности $p(1)$ и $1-p(1)$ влияют только на величину ω_{d+1} . С уменьшением $p(1)$ уменьшается и ω_{d+1} . Такое уменьшение ω_{d+1} приводит к тому, что для всех объектов повышается вероятность быть отнесенными ко второму классу.

Отметим также, что i -й вес ω_{d+1} зависит логарифмически от отношения $(p_i/1-p_i)/(q_i/1-q_i)$. Если p_i увеличивается, а q_i постоянно, то это отношение будет увеличиваться. Такое увеличение ω_i приводит к тому, что для объектов, у которых i -я компонента равна 1, повышается вероятность быть отнесенным к первому классу. Вес ω_i будет равен только при $p_i=q_i$. в этом случае i -я компонента объекта не учитывается. В нашем случае вероятности q_i и p_i , а также пороговое значение $f(X_0)$ даны в техническом задании [3].

Выводы

Таким образом, можно сделать вывод, что при помощи данных методов анализа устанавливается связь между состояниями технической системы и их отображением в пространстве признаков, которые затем являются фундаментом для алгоритмов распознавания технической диагностики моделей.

Библиографический список

1. Нильсон Н. Обучающиеся машины. М.: Мир, 1967. 35 с.
2. Явленский К. Н. Справочник конструктора точного машиностроения. Л.: Машиностроение, 1989. 307 с.
3. Явленский А. К., Явленский К. Н. Теория динамики и диагностики систем трения качения. Л.: Ленинградский Университет, 1978. 117 с.

УДК 007.5

К. А. Семенов

студент кафедры управления в технических системах

В. А. Голубков – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНЫМИ БАТАРЕЯМИ****Теоретическая часть**

В нынешний век технологического развития электромеханические системы должны соответствовать высоким требованиям, а также обладать надежностью и внушительным моторесурсом, будучи при этом экономически целесообразными. Современные способы оценивания надежности электромеханических систем требуют много затрат как временных, так и финансовых, но в результате данных испытаний предоставляется интегральная оценка надежности для класса объекта.

Таким образом, индивидуальная диагностика технического состояния электромеханической системы, вычисляемая в данной работе, является актуальной. К новшеству этого способа можно отнести то, что при индивидуальной проверке используются методы контроля по дополнительным признакам, неразрушающие систему. К тому же стоит отметить, что основополагающим элементом при проектировании такого прибора является используемый микроконтроллер [1].

Конечным результатом разработки проекта является обнаружение и устранение возможных браков системы, прежде чем найденные дефекты окажут негативное влияние на работу устройства, вплоть до его выхода из строя. В рассматриваемом проекте признаком негативного влияния брака системы будет являться амплитуда, вызванная вибрацией при отклонении геометрий у элементов объекта контроля. То есть появление дефекта сперва образуется в узлах системы, которые находятся под постоянной циклической нагрузкой, которая уже в свою очередь служат источником изменений геометрии определенного элемента системы от изначально заданной размерности при первоначальном проектировании электромеханической системы. Если говорить про более конкретные случаи, то можно привести следующий пример подобных геометрических изменений элементов. К таким дефектам, вызванным циклической нагрузкой, можно отнести овальность или трехвершинную огранку у колец шарикоподшипников. Данные изменения от первоначальной геометрии элементов колец являются причиной возникновения вибрационных амплитуд на определенных частотах. Примером может послужить двухступенчатый редуктор.

Для широкого спектра применения разрабатываемый механизм планируется сделать многофункциональным. Обеспечение гибкости контроля показаний прибором не будет вмешиваться во внутреннюю структуру системы. Для проведения анализа состояния электромеханической системы и последующего вынесения решения в соответствии с результатами вышеописанной диагностики необходимо совершить выбор дискриминантной функции и способа ее получения [2].

Практическая часть

По результатам патентного поиска был выбран аналог разрабатываемого проекта прибора, потому что в нем используются статистический способ отнесения объекта контроля к тому или иному диагнозу и пороговая структура определения наличия дефекта. Однако выбранный аналог предназначен лишь для диагностики подшипников, а заложенный в нем потенциал позволяет применить его и для контроля электромеханической системы в целом. Для этого требуется скорректировать диапазон информационных частот, а также предлагается усовершенствовать существующий прибор путем применения современных решений в виде микроконтроллера и активных фильтров. Прежде чем приступить к построению новой структурной схемы необходимо выбрать оптимальный алгоритм распознавания технического состояния объекта контроля (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Результат патентного поиска, взятый в качестве примера

Организация, страна производитель страны	Лучшие промышленно освоенные объекты техники	Научно-технических задел	Техническая сущность новых решений и ожидаемое улучшение показателей объекта

Фирма SKF, шведская интернациональная машиностроительная компания	Система функциональных испытаний подшипников качения	Разработка фирмы SKF. Новые методы испытаний подшипников качения. 2017 №1024	Определяют долговечность, момент трения, кинематику, износ, достоверность результатов повышается за счет выявления характера движения тел качения в ненагруженной зоне
---	--	--	--

Алгоритм работы системы управления солнечными батареями

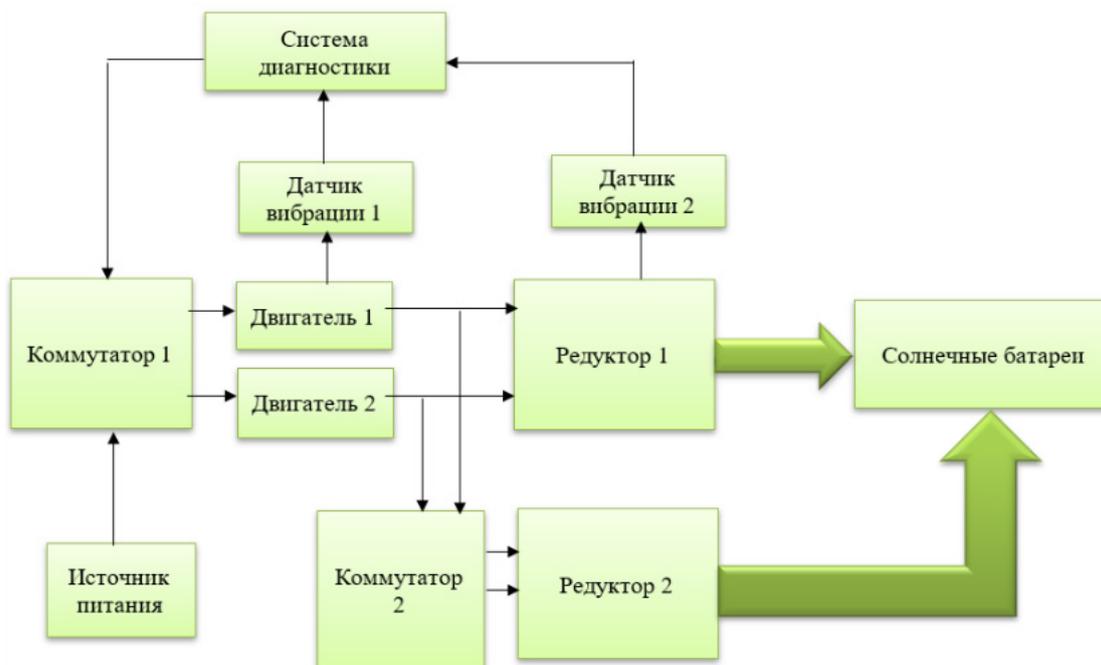


Рис. 1. Схема алгоритм работы системы управления солнечными батареями

Выводы

Таким образом, в данной статье на основе патентного поиска был разобран алгоритм работы системы управления солнечными батареями.

Библиографический список

1. Нильсон Н. Обучающиеся машины. М.: Мир, 1967. 27 с.
2. Явленский К. Н. Справочник конструктора точного машиностроения. Л.: Машиностроение, 1989. 68 с.

УДК 629.735.33

И. С. Скробат

студент кафедры технологий защиты информации

С. Г. Фомичева – кандидат технических наук, профессор – научный руководитель

МЕТОДЫ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ РАЗРЕШЕНИЯ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ОЦЕНКИ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Введение

Проблема глобального потепления была актуальной на протяжении довольно длительного времени. В настоящий момент все больше и больше организаций обращают внимание на проблемы экологии и стараются популяризировать эти проблемы. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем докладе сообщает о повышении средней температуры на 1 °С по сравнению с доиндустриальными показателями, а также о тенденции повышения температуры на 0,2 °С за десятилетие [1].

Углеродный след – это мера исключительного глобального количества CO₂ и других парниковых газов, выбрасываемых в результате деятельности человека или накопленных за полный жизненный цикл продукта или услуги [2]. Леса поглощают большое количество углерода и играют решающую роль в глобальной климатической системе. Количественная оценка лесной биомассы имеет жизненно важное значение для учета углеродного бюджета [3]. Ее можно отслеживать при помощи спутниковых данных путем вычисления площади лесных массивов. Таким образом, задача мониторинга углеродного следа сводится к задачам классификации или сегментации изображений.

В компьютерном зрении одним из способов повышения точности классификации или сегментации является повышение разрешения изображений, используемых при обучении моделей. Можно деконструировать глобальную задачу повышения качества мониторинга углеродного следа и свести ее к задачам повышения разрешения и/или аугментации данных тренировочной выборки.

Технология дистанционного зондирования и спутниковые данные

Спектральные данные широко используются во многих приложениях дистанционного зондирования и компьютерного зрения. Использование данных со спутника дает возможность оценивать свойства земной поверхности, что в совокупности со статистическими данными успешно используется в мониторинге различных экологических аспектов.

Для оценки динамики изменения углеродного следа используются спутниковые данные, которые представляют из себя набор изображений с показателями каждого из частотных каналов. Изображения комплекса спутников Sentinel-2, состоящего из двух аналогичных спутников Sentinel-2A и Sentinel-2B активно используются в отслеживании земной поверхности. Данный спутник имеет 13 спектральных полос, имеющие 3 группы разрешения: разрешение 10 м имеют полосы B2, B3, B4, B8, разрешение 20 м имеют полосы B5, B6, B7, B8a, B11 и B12, а расширение 60 м имеют полосы B1, B9, B10.

Задача и методы повышения разрешения спутниковых снимков

Повышение разрешения изображения – процесс восстановления изображения высокого разрешения из изображений низкого разрешения.

Из-за аппаратных ограничений собрать высококачественные мультиспектральные данные намного труднее, чем панхроматические (RGB) изображения. Повышение разрешения мультиспектральных изображений является классическим способом постобработки сигнала. Для того чтобы научить нейро-сетевую модель корректно восстанавливать изображения высокого разрешения, необходимы данные, содержащие как низкое, так и высокое изображение. В общем случае изображения низкого разрешения получают путем деградации (1) [4]:

$$I_x = D(I_y; \delta), \quad (1)$$

где D – функция отображения деградации; I_x – изображение высокого разрешения; δ – параметры процесса деградации (например, масштабный коэффициент или шум); I_y – полученное изображение низкого разрешения.

В противоположность методам деградации (1) методы задач повышения разрешения сложных изображений являются слабо формализованными. Сама же задача повышения разрешения является очень сложной и по своей сути трудноразрешимой, поскольку одному изображению низкого разрешения всегда соответствует несколько изображений высокого разрешения [1]. В настоящее время методы повышения разрешения изображений можно разделить на две категории [2]–[4].

- *Методы на основе интерполяции* – заключаются в использовании математических аппаратов для вычисления значений пикселей в недостающих точках различными способами в зависимости от вида интерполяции (например, сплайнами). При этом в изображение не привносится достаточно новой информации.

- *Методы на основе машинного обучения* – сверточные нейронные сети, генеративно-сопоставительные нейронные сети и другие алгоритмы машинного обучения.

Наиболее эффективные на сегодняшний день методы и механизмы машинного обучения для повышения разрешения сложных изображений, к числу которых относятся спутниковые снимки приведены табл. 1.

Таблица 1

Методы машинного обучения для задач повышения разрешения спутниковых снимков

Метод	Архитектура/механизмы	Оптимизатор	Функция потерь	Начальная скорость обучения	Метрика
DSen2 [5]	Совокупность двух CNN на основе ResNet 1) Повышение разрешения 60→10 м 2) повышение разрешения 20→10 м	Adam	L1-loss	10^{-4}	RMSE
D-RCSAN [6]	RCAN с использованием гибридным канално-пространственным механизмом внимания	Adam	L1-loss	8×10^{-5}	PSNR, SSIM
ESRGAN [7]	GAN – генеративно-сопоставительная сеть	Adam	L1-loss	10^{-4}	PSNR, SSIM
DeepLabV3+ с ASPP [8]	Сеть с использованием multitask learning с двумя ветвями: 1) ветвь семантической сегментации сверхвысокого разрешения 2) ветвь одиночного сверхвысокого разрешения	Adam	Multi-Task Loss	2×10^{-4}	MSE

Как показано в табл. 1, помимо различий в архитектуре используемых механизмов повышения разрешения, одними из важных гиперпараметров нейросетевой модели являются используемые метрики, с помощью которых производится оценка качества реализации того или иного метода повышения разрешения. Оценки качества повышения разрешения можно разделить на две категории – основанные на субъективной оценке человека и основанные на объективных вычислительных методах. Опишем основные метрики, используемые для оценивания качества решения задачи повышения разрешения.

MSE (Mean Squared Error) – среднеквадратическая ошибка прогноза, где для каждой точки вычисляется квадратная разница между прогнозами и целью, а затем усредняются эти значения:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (2)$$

где n – количество наблюдений; y_i – фактическая координата наблюдения; \tilde{y}_i – предсказанная координата наблюдения.

PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) – соотношение между максимумом возможного значения сигнала и мощностью шума, искажающего значения сигнала:

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MaxVal}{\sqrt{MSE}} \right), \quad (3)$$

где $MaxVal$ – максимальное значение пикселя изображения; MSE – среднеквадратичная ошибка (2).

SSIM (Structure Similarity) – мера структурного сходства между двумя изображениями:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x \mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)}, \quad (4)$$

где x – изображение X ; y – изображение Y ; μ_x – среднее X ; μ_y – среднее Y ; σ_x^2 – дисперсия X ; σ_y^2 – дисперсия Y ; σ_{xy} – ковариация X и Y , c_1 и c_2 – две переменные, зависящие от динамического диапазона пикселей изображений.

Метрики оценки качества изображения, такие как MSE (2) и $PSNR$ (3) широко применимы [6]–[8], поскольку они просты в вычислении, понятны в физическом смысле. Но при этом они не являются нормализованными показателями, что препятствует их использованию для разно размерных изображений. Метрика $SSIM$ (4) лучше отражает визуальное качество, чем $PSNR$ (3) и является нормализованной. Рекомендуется совместное использование метрик $PSNR$ и $SSIM$ для получения более точных оценок.

Заключение и направления исследований

В данной работе рассмотрена проблема мониторинга углеродного следа при помощи технологий дистанционного зондирования и предложены методы машинного обучения, позволяющие обеспечить повышение разрешения спутниковых снимков, используемых для оценки динамики углеродного следа. Отмечено, что основным методом для оценки динамики углеродного следа является определение количества наземной биомассы растений, что поможет детектировать поглощаемый углекислый газ. Повышение разрешения спутниковых данных может повысить точность объема поглощаемого углекислого газа. Данная область представляет собой обширное поле дальнейших наших исследований, среди которых:

- повышение разрешения только тех частотных полос, которые имеют меньшее разрешение относительно других, с целью выравнивания общего разрешения спутникового снимка;
- повышение разрешения всех полос. Снимки высокого разрешения (5; 1,5 м) являются общедоступными редко. Повышая разрешение мультиспектральных снимков спутника Sentinel-2, можно получить достаточное количество качественных доступных снимков;
- выбор оптимального по времени или по количеству обучающих данных алгоритма повышения разрешения. Различные методы подразумевают под собой различные механизмы, лежащие в их основе. Данные механизмы могут решать задачу повышения разрешения очень хорошо, но при этом требовать очень много времени или обучающих данных. Время и данные – немаловажные ресурсы, которые тоже могут быть в ограниченном количестве.

Библиографический список

1. «IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change». URL: <https://www.ipcc.ch> (дата обращения: 17.11.2021).

2. Tsai Chi Kuo and Gary Yu-Hsin Chen and Miao Ling Wang and Ming Way Ho. Carbon footprint inventory route planning and selection of hot spot suppliers // *International Journal of Production Economics*. 2014. Vol. 150. P. 125–139.
3. An Thi Ngoc Dang and Subrata Nandy and Ritika Srinet and Nguyen Viet Luong and Surajit Ghosh and A. Forest aboveground biomass estimation using machine learning regression algorithm in Yok Don National Park, Vietnam // 2019. P. 24–32.
4. Wang Z., Steven C. Deep Learning for Image Super-Resolution: A Survey // *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2021. Vol. 43. P. 3365–3387.
5. Lanaras C., Bioucas-Dias J. Super-resolution of Sentinel-2 images: Learning a globally applicable deep neural network // 2018. Vol. 146. P. 305–319.
6. Zhu Y., Geiß C. Image super-resolution with dense-sampling residual channel-spatial attention networks for multi-temporal remote sensing image classification // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2021. Vol. 104. P.102543.
7. Romero S. Super-Resolution of Sentinel-2 Imagery Using Generative Adversarial Networks. // *Remote Sensing*. 2020. Vol. 15.
8. Abadal S. A Dual Network for Super-Resolution and Semantic Segmentation of Sentinel-2 Imagery // *Remote Sensing*. 2021. Vol. 13.
9. Chen H. Real-world single image super-resolution: A brief review // *Information Fusion*. 2022. Vol. 79. P. 124–145.

УДК 621.3

А. А. Софронов

студент кафедры электромеханики и робототехники

О. Б. Чернышева – старший преподаватель кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕТЕЙ SMART GRID**

По данным пресс-релиза системного оператора РАО Единая Энергетическая Система России, опубликованного 11.01.2022, потребность в электроэнергии только за прошлый год увеличилась на 5,5 %. В зависимости от региона РФ она составила от 0,2 % на юге России и до 11,8 % на северо-западе. Значительная протяженность и площадь территории, особые климатические условия дополнительно увеличивают расходы при передаче энергии [1]. Сокращение запасов углеводородного сырья совместно с ростом энергопотребления в развивающихся сферах экономики РФ, а также существенные затраты, которые требуются для создания новых генерирующих мощностей, неизбежно ведет к необходимости использования возобновляемых источников энергии. Как следствие, возрастает необходимость введения новых систем управления, производства и регулирования спроса электроэнергии.

В настоящее время в мире и России активно разрабатываются и внедряются технологии интеллектуальных сетей. Smart grid представляет собой концепцию интеллектуальной, эффективной, надежной инфраструктуры, включающей в себя все основные направления: генерацию, трансформацию, распределение, передачу и потребление электроэнергии. В этой модели дополнительно к традиционным источникам энергии предполагается увеличение доли возобновляемых источников энергии, а также развитие накопителей энергии для повышения эффективности ее использования [2].

В работе Кобец Б. Б. отмечает, что главным аспектом данной концепции является именно распределенная генерация и хранение энергии. Для внедрения такого типа генерации необходимо иметь такие технические стандарты, чтобы к системе можно было присоединять источники на любом уровне напряжения. Также нужно создать порядок и условия создания собственных генерирующих и аккумулирующих мощностей для потребителей, которые принимают активное участие на рынке электроэнергии. Предполагается, что такими источниками энергии должны стать альтернативные источники энергии (малые СЭС, ВЭС, ГЭС) [3].

Внедрение распределенной генерации приведет к кардинальному изменению топологии электрической сети. На смену радиальной придет ячеистая сеть (рис. 1). При этом электроэнергия перестанет поступать в только одном направлении. Потребитель становится активным, а не пассивным элементом схемы. Технологии Smart Grid позволят потребителям при пиковых нагрузках на сеть выступать в качестве продавца. С помощью системы управления потребитель начинает передавать часть энергии в общую сеть, а затем энергетическая компания разделяет прибыль от продажи с потребителем [3].

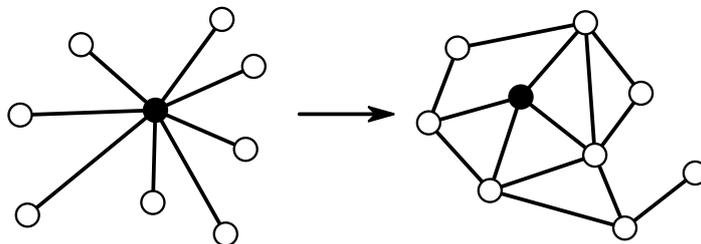


Рис. 1. Радиально лучевая и ячеистая топология

Начальным этапом внедрения Smart Grid стали АМІ (*Advanced Metering Infrastructure*) – так называемые интеллектуальные системы измерения. Высокоточные счетчики с возможностью автокалибровки и автономного питания, которые фиксируют и предоставляют первичную информацию с заданной частотой от потребителя в систему обработки данных (*Advanced distribution operations – ADO*). Затем на основе данных формируются отчеты по потреблению и характеру нагрузок. Они обеспечивают управление потоками электроэнергии в реальном времени на основе системы распределения (*Advanced*

transmission operations – АТО). Являясь последним звеном, расширенное управление активами (ААМ – *Advanced asset management*) на основании полученных данных оптимизирует распределение ресурсов и повышает эффективность работы [4]. Использование такой многокомпонентной «умной системы», в которой сочетаются электронные системы управления, средства самодиагностики, анализа информации и пр. позволит снижать потери мощностей, оптимизировать распределение потоков и сглаживать пики потребления. В итоге результатом станет повышение качества энергоснабжения для потребителей и значительная экономия финансовых ресурсов поставщиков электроэнергетики [5].

На текущий момент в 11 регионах имеются инициативы по внедрению Smart Grid. Так, в Калининградской области потери электроэнергии снизились на 37 %, а в Тульской и Ярославской областях на 10–20 %. Необходимость отслеживания и контроля режимов работы оборудования привела к созданию восьми новых диспетчерских центров в городе Уфа. Они объединены в единый координационный центр, на основе которого реализовано двухуровневая модель управления. Первый отвечает за работу с высшими уровнями стандартного ряда напряжений (выше 500 кВ), а также за оптовый рынок электроэнергии. Второй управляет режимами работы линий электропередач 110–220 кВ и контролирует работу оборудования розничного рынка электроэнергии. Оптимизация энергосистемы позволила увеличить пропускную способность и отказоустойчивость электроснабжения. До внедрения систем интеллектуального учета потери составляли 15,6 %, а после около 9 %. По подсчетам экономический эффект от преобразований энергосистемы с использованием инновационных технологий составит порядка 500 млн рублей в год [6].

Наряду с очевидными плюсами существования в энергосистеме страны повсеместное внедрение в настоящий момент связано с определенными трудностями. Основные причины следующие: слабая заинтересованность в финансировании инвестиционных проектов в связи с их долгой окупаемостью и низкой доходностью на первых этапах [7]; устаревшее электротехническое оборудование; недостаточная квалификация рабочих кадров; существование значительного количества участков сети, которые не входят в единую централизованную электрическую сеть; недостаточное развитие научно-технической сферы в направлении создания и внедрения технологий интеллектуальных сетей, систем хранения и передачи персональных данных. Непроработанность и недостаточная законодательная база в России также снижает темпы развития и внедрения таких систем.

Таким образом, решение ряда технологических и организационных проблем может позволить развивать данное направление и активнее внедрять инновационные технологии в энергосистему. Интеллектуальные сети и средства измерения – это инновационный инструмент для сбора и анализа данных потребления в режиме реального времени и дальнейшее их использование для повышения эффективности передачи электроэнергии, осуществления бесперебойной работы в режиме оптимальных уровней нагрузки. Повышение устойчивости сети благодаря гибкости топологии позволяет поддерживать стабильную работу после аварий или стихийных бедствий.

Библиографический список

1. Соловьева И. А., Дзюба А. П. Управление спросом на электроэнергию в России: состояние и перспективы // Вестник Самарского государственного экономического университета. 2017. № 3. С. 53–62.
2. Ховалова Т. В., Жолнерчик С. С. Эффекты внедрения интеллектуальных электроэнергетических сетей // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2018. № 2 (107). С. 92–101.
3. Кобец Б. Б., Волкова И. О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. М.: ИАЦ Энергия, 2010. 208 с.
4. Mohassel R. A survey on advanced metering infrastructure // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2014. N 63. P. 473–484.
5. Большев В. Е., Виноградов А. В. Обзор зарубежных источников по инфраструктуре интеллектуальных счетчиков // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2018. № 3. С. 5–13.
6. Рязанов М. А. Применение концепции Smart Grid в электросетевом комплексе // Научно-практические исследования. 2020. № 4-4 (27). С. 119–123.
7. Галаган А. О. Проблемы внедрения Smart Grid в России // Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие». 2017. С. 48–52.

УДК 378.147

И. Д. Спиридонова

студент кафедры программно-целевого управления в приборостроении

В. А. Семенова – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель

АСПЕКТЫ ВЛИЯНИЯ РИСКОВ НА РАЗВИТИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Сейчас переход к цифровой трансформации становится еще более актуальным в электроэнергетической отрасли. Электроэнергетика находится на этапе цифровой трансформации, так как развитие отрасли напрямую зависит от прогресса новых (цифровых) технологий. Внедренные технологии окажут наибольшее влияние на трансформацию энергетики, то есть включается продвинутая аналитика данных, в том числе искусственный интеллект, облачные и квантовые вычисления, роботизацию, носимые устройства и т. д. Несмотря на крутой технологический скачок, существуют риски (препятствия), которые могут возникнуть на пути внедрения цифровой трансформации [1].

Для начала дадим определение понятию «риски», а затем выявим основные рисковые элементы. *Риск* – потенциальная численно измеримая возможность неблагоприятных ситуаций и связанных с ними последствий в виде потерь, ущерба, убытков (например, ожидаемой прибыли, дохода, имущества, денежных средств) в связи с неопределенностью, то есть со случайным изменением условий экономической деятельности, неблагоприятными, в том числе форс-мажорными обстоятельствами, общим падением цен на рынке; возможность получения непредсказуемого результата в зависимости от принятого хозяйственного решения, действия. В явлении риска можно выделить основополагающие элементы [2]:

- возможность отклонения от намеченной цели, ради которой осуществлялась вся деятельность;
- вероятность достижения желаемого результата;
- отсутствие уверенности в достижении поставленной цели;
- возможность материальных, финансовых, нравственных и других потерь, связанных с реализацией цели в условиях неопределенности.

Также различают позитивные и негативные риски:

- позитивные риски – это события, которые позволяют улучшить качество реализации проекта и достигнуть итогового результата с меньшими затратами времени и ресурсов;
- негативные риски – это события, которые приводят к ухудшению качества исполнения проекта. Они требуют необходимости осуществлять дополнительные затраты ресурсов и времени или могут снизить качественные показатели конечного результата.

В рамках рассмотрения Интернета вещей в сфере электроэнергетики выделим следующие препятствия [3]:

- топология энергетики: преобладает иерархическая централизованная архитектура;
- замедленное внедрение инноваций в электроэнергетику примерно на 10–20 лет;
- Интернет вещей является новыми инвестициями, но при этом в электроэнергетике нужно окупить старые затраты, то есть увеличить капиталоемкость;
- цифровизация электроэнергетики ведет к большей уязвимости, то есть будет увеличенный поток кибератак;
- нет посчитанной экономической оценки и результатов внедрения Интернета вещей.

Рассмотрим подробно защиту электроэнергетического производства от кибератак.

Количество и различные виды кибератак в промышленном секторе (в частности, в электроэнергетике) стремительно увеличивается, это подтверждает статистика «Лаборатории Касперского» – каждый год чуть больше 40 % компьютеров автоматизированных систем управления технологических процессов поражены какими-либо вредоносными объектами. Рост кибератак связан, как ранее было сказано, с цифровой трансформацией электроэнергетической промышленности, а также с появлением беспроводных сетей и Интернета вещей, что расширяет внешнюю среду для увеличения рисков.

Кибератаки на производстве приводят к вынужденным простоям, поэтому начинается снижение качества продуктов и услуг, поставляемых потребителям, что сказывается на их доверии. Производство упускает прибыль, работоспособность сотрудников падает, хотя по сей день некоторые производства не особо обращают внимание на важность киберзащиты, надеются на то, что их это не коснется, так как они уже закупили корпоративные антивирусные программы, поставлены межсетевые экраны в офисной части производства. Однако на это нельзя уповать, так как киберпреступники могут проникнуть через личный смартфон сотрудника (при подключении его к персональному рабочему компьютеру), съемные носители, офисные сети с подключением к Интернету, через переписки по почте, ошибки подрядчиков, Wi-Fi сети, облачные хранилища и т. д. Повышенная уязвимость сотрудников электроэнергетического производства связана с отсутствием современных мер информационной безопасности [4].

Большинство вредоносного программного обеспечения (ПО) не нацелено на производства, а предназначено для корпоративного сегмента или частных пользователей. Но некоторое вирусное ПО предназначено под производителя АСУ ТП. Обычно это ПО попадает незаметно и может внезапно атаковать конкретное производство, а впоследствии может пострадать другой любой технологический объект иностранного государства.

Стоит отметить, что кибербезопасность предприятия сводится не только к защите от вредоносного ПО, но и от случайной ошибки сотрудника или подрядчика, получившего доступ к внутренней сети. Ведь технологические процессы становятся сложными, так что все воздействия и конфликты ПО тяжело контролировать.

Какие же шаги стоит предпринять для безопасности? Вот чему необходимо следовать электроэнергетическим предприятиям для поддержания информационной безопасности по данным Kaspersky ICS CERT [4]:

- обеспечить производство (рабочие станции и серверы) специализированными ПО для промышленной работы, чтобы они отличались от стандартного корпоративного ПО;
- разделить сеть на зоны (промышленные и корпоративные), то есть максимально разделить доступ пользователей (сотрудников) к различным элементам инфраструктуры;
- использовать удаленный доступ, которые позволят максимально защитить учетные данные пользователей;
- отслеживать и анализировать в промышленной сети передачу данных, попытки неразрешенные удаленные подключения и распространения вредоносного ПО.

Цифровая трансформация в нашей стране рассматривается как передовой рубеж в отрасли электроэнергетики, появление новых бизнес-моделей, выявление рисков, а также их заблаговременное решение приведет к выводу электроэнергетической России на новый экономический уровень.

Библиографический список

1. Департамент международного и регионального сотрудничества СП РФ. Цифровые технологии и кибербезопасность в контексте распространения COVID-19. URL: <https://ach.gov.ru/upload/pdf/Covid-19-digital.pdf> (дата обращения: 18.01.2022).
2. Терентьева Ю. Г. Управление рисками в проекте. СПб.: ГУАП, 2021. 15 с.
3. PWC. Интернет вещей в электроэнергетике России. URL: https://www.pwc.ru/ru/iot/Stapran_D_IoT_in_energy.pdf (дата обращения: 18.01.2022).
4. Ежемесячное информационно-аналитическое издание «Нефтегаз». А. Петухов. Как защитить производство от киберугроз. URL: [https://www.neftegaz-expo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz2020/img/digest/Neftegaz_Digest_2020.17\(24\).pdf](https://www.neftegaz-expo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz2020/img/digest/Neftegaz_Digest_2020.17(24).pdf) (дата обращения: 07.02.2022).

УДК 004.056

А. Р. Стародуб

студентка кафедры технологий защиты информации

В. А. Мыльников – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КИБЕРАТАК НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ДАННЫХ ОБ УГРОЗАХ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Введение

В настоящее время информационная безопасность занимает далеко не последнее место в жизни людей, и, как следствие, все большее количество человек старается обезопасить компании от утечек информации, а также защитить свои персональные данные.

На данный момент существует огромное количество различных средств защиты информации, которые помогают предотвратить факты нарушения ее конфиденциальности, целостности и доступности.

Важнейшая задача обеспечения защиты информации – отслеживание угроз и выявление аномалий на начальных этапах. В связи с этим в последнее время в мире набирает все большую популярность работа с инцидентами информационной безопасности [1], которая помогает получить предупредительную информацию о киберугрозах, а также предугадать кибератаки, которые могут быть совершены в ближайшем будущем.

Для этого требуется выстроить систему [2], которая при реагировании на такие потоки данных поможет избежать попытки несанкционированного доступа к ней. Именно эта методика активного противодействия направленным атакам позволяет узнавать и планировать меры по ликвидации угроз до того, как они станут проблемой для экосистемы.

Главным элементом платформ, работающих с данными об угрозах, являются индикаторы компрометации, которые образуют признаки, с помощью которых можно обнаружить угрозу информационной безопасности. Это могут быть хэш-суммы вредоносных файлов или, например, IP-адреса, которые связаны с вредоносной активностью.

С помощью правильно описанных и нормализованных индикаторов компрометации можно вовремя блокировать угрозы и тем самым минимизировать возможность компрометации данных в системе.

Обзор публикаций

На сегодняшний день существует множество научных исследований, которые описывают работу с инцидентами информационной безопасности. Рассмотрим некоторые публикации, описывающие наиболее распространенные методы анализа индикаторов компрометации, а также основные проблемы работы с данными о киберугрозах.

В [3] повествуется о структурном подходе, который базируется на технических мерах защиты информации, то есть при расследовании инцидентов упор делается на выбор программно-технических средств обнаружения вторжений, а также на различные каналы, по которым происходит обновление информации о нарушении безопасности.

В [4] повествуется о том, что основной метод системы, разработанной авторами работы, нацелен на получение данных из социальной сети Twitter и, используя архитектуру глубоких нейронных сетей, извлечение из нее релевантных данных, которые имеют отношение к информационной безопасности, а именно к индикаторам компрометации. То есть в системе предполагается работа с инцидентами информационной безопасности на базе алгоритмов машинного обучения.

В [5] рассматривается метод автоматизации оценки источников инцидентов информационной безопасности и аналитика для каждого источника в балльной системе. Также определяется модель, которая основана на метаданных и встраивании слов: все это помогает специалистам по информационной безопасности обнаруживать угрозы на ранних этапах за счет сокращения времени ожидания проверки поступающих данных.

При нормализации индикаторов компрометации используются различные стандарты описания, которые освещены, например, в [6]. Каждая организация выбирает свой приоритетный стандарт и придерживается его при описании индикаторов. На данный момент специалисты в области безопасности в большинстве случаев используют стандарт OpenIOC [7], так как его структура наиболее удобна для прочтения данных. В дальнейшем исследовании работа с индикаторами компрометации будет производиться на основании этого стандарта.

При работе с инцидентами безопасности можно столкнуться с рядом проблем [8], таких как:

- обработка больших объемов данных может привести к нехватке вычислительных мощностей (ресурсов);
- индикаторы компрометации при попадании в систему могут быть не нормализованы и не обогащены данными, то есть находиться в «сыром» виде;
- может произойти ситуация «замусоривания» данных, при которой некоторые индикаторы, поступающие в систему, будут дублироваться и тем самым заполнять хранилище данных.

Все эти недостатки могут привести к низкой скорости поиска информации, а в сфере кибербезопасности без оперативного реагирования на угрозы их дальнейшая нейтрализация становится более трудозатратной, а в некоторых случаях низкая скорость реакции на инциденты может принести колоссальный ущерб компании.

Метод анализа данных об угрозах информационной безопасности

Рассмотрев различные методы работы с инцидентами информационной безопасности, был разработан метод, построенный на базе диаграмм бизнес-процессов. На рис. 1 изображена модель разрабатываемой системы в виде диаграммы IDEF0.

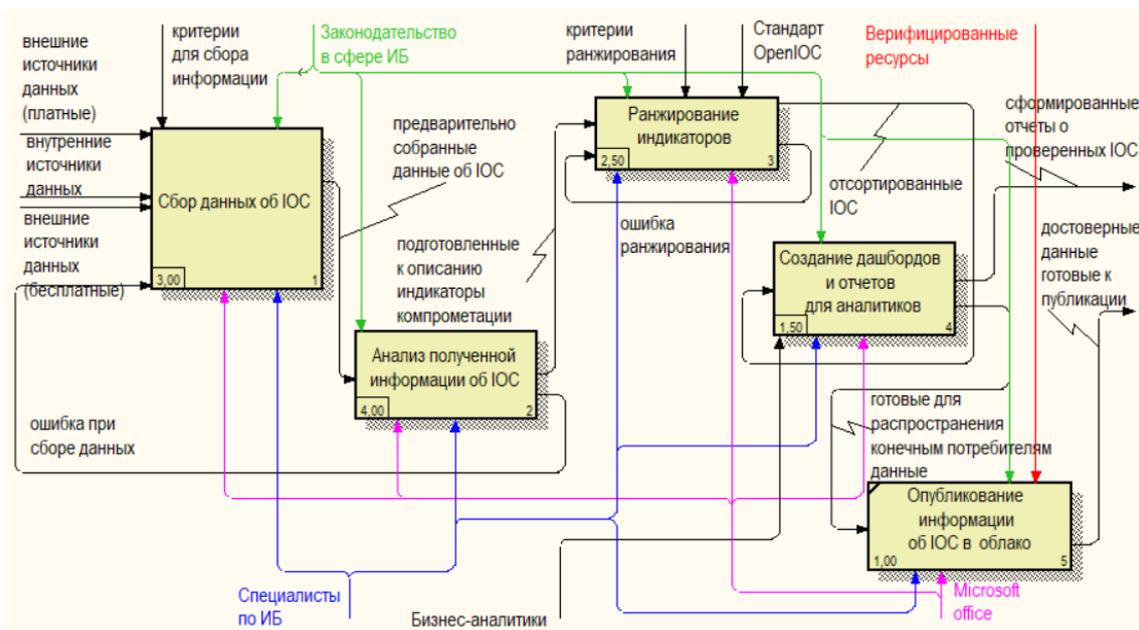


Рис. 1. Модель анализа данных на базе диаграммы IDEF0

В систему поступают различного рода данные об индикаторах компрометации, которые собирают, обрабатывают и анализируют специалисты по информационной безопасности. После этих работ следует процесс ранжирования данных: отбор наиболее опасных индикаторов, для того чтобы своевременно отреагировать на потенциальную угрозу. Так как большинство информации поступает в виде «сырых» данных, их первоначально необходимо обогащать и только после этого производить ранжирование.

Затем, когда выполнены все вышеперечисленные пункты, специалисты по информационной безопасности описывают всю деятельность от начала до конца в виде аналитических отчетов руководству, а после их проверки занимаются опубликованием информации об индикаторах компрометации верифицированным источникам.

Такой метод работы с инцидентами информационной безопасности является последовательным и имеет невысокую сложность реализации, а также помогает избежать проблем с нормализацией и обогащением данных, так как в системе эти функции выполняются, вследствие этого работа с индикаторами компрометации становится более простой, поскольку внутри системы они уже будут описаны. Также преимуществом данной системы является ранжирование индикаторов для определения потенциально вредоносных активностей методом присвоения им определенного уровня опасности.

Заключение

Потребность в быстром реагировании на различные инциденты в системах существует всегда, так как выявление потенциальной опасности на ранних этапах может сохранить данную систему в целостности, уберечь ее от копирования, распространения, а также удаления конфиденциальных данных.

Разработанная модель может послужить основой для дальнейших исследований в области работы с инцидентами информационной безопасности, а также может быть использована в качестве вспомогательной схемы.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 18044-2007. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Менеджмент инцидентов информационной безопасности. URL: <http://internet-law.ru/gosts/gost/47690> (дата обращения: 27.02.2022).
2. Panwar A., Nair A., Sonthalia A. ThreatHawk: A threat intelligence platform // *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022. Vol. 334. P. 547–544.
3. Дрянных Ю. Ю., Жуков В. Г. Структурный подход к расследованию инцидентов информационной безопасности на базе платформы threat intelligence. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strukturnyy-podhod-k-rassledovaniyu-intsidentov-informatsionnoy-bezopasnosti-na-baze-platformy-threat-intelligence> (дата обращения: 01.03.2022).
4. Dlonisio N., Alves F., Ferreira P. Towards end-to-end cyberthreat detection from twitter using multi-task learning // *Paper presented at the Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. 2020.
5. Tundis A., Ruppert S., Mühlhäuser M. A feature-driven method for automating the assessment of OSINT cyber threat sources // *Computers and Security*. 2022. Vol. 113.
6. Faiella M., Gonzalez-Granadillo G., Medeiros I. Enriching threat intelligence platforms capabilities // *Paper presented at the ICETE 2019 – Proceedings of the 16th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*. 2019. Vol. 2. P. 37–48.
7. Эффективное распределение SOC информации об угрозах. URL: <https://ib-bank.ru/bisjournal/post/392> (дата обращения: 09.03.2022).
8. GOSINT – open source решение для управления индикаторами компрометации (IoC). URL: <https://www.securitylab.ru/blog/company/cisco/345599.php> (дата обращения: 03.03.2022).

УДК 004.932.72'1

Ю. О. Третьякова

студентка кафедры технологий защиты информации

В. А. Мыльников – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВЕРТОЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Обзор публикаций

В настоящее время существует множество работ, которые демонстрируют различные способы обмана нейросетевых моделей, а также наглядно показывают их уязвимость на этапе эксплуатации. Рассмотрим несколько примеров пиксельных атак на нейросети.

Существуют алгоритмы обмана нейросети по распознаванию лиц. Например, в [1], [2] исследователи смогли снизить точность распознавания с помощью бумажных очков и легкого макияжа.

Есть и пример обмана нейросети при поиске объекта на изображении. Он был представлен общественности в статье [3]. Экспериментаторы создали «наклейку», на которую реагировала нейросеть, тем самым не замечая человека за ней.

Выше представленные примеры помогли обмануть нейросетевую модель и «спрятаться» от нее без вреда для здоровья. Но что если искусственный интеллект управляет процессом? Например, транспортным средством. Обман нейросети и ее неправильная работа могут привести к серьезным последствиям [4], [5].

В [6] продемонстрированы результаты пиксельной атаки. Авторы работы использовали три вида нейросетевых моделей. В ходе экспериментов все они показали примерно одинаковый процент уверенности ошибочной классификации при изменении 1, 3 и 5 пикселей. По результатам работы классификатора можно сделать вывод, что достаточно изменить один пиксель, чтобы нейросеть ошиблась. Также авторы пришли к выводу, что у каждого изображения есть не один пиксель, который влияет на причисление к определенному классу, о чем говорят тепловые карты, составленные в серых тонах для каждой нейросети.

В [7] приведен самый популярный пример с пандой, которая для нейросети является гиббоном. Для демонстрации примера на исходное изображение класса «панда» был наложен шум по коэффициенту возмущения 0.007. Значение 0.007 соответствует величине наименьшего бита 8-битной кодировки изображения из класса «nematode» того же датасета после преобразования в вещественные числа. Нейросеть GoogLeNet отнесла модифицированное изображение к классу «гиббон».

В [8] описан метод создания «наклеек» (накладываемых картинок) в реальном мире, с помощью которых можно реализовать целевую атаку. Авторы статьи предупреждают, что размеры такой «наклейки» могут быть не очень большими, но нейросеть все равно на нее среагирует. «Наклейка» может занимать от 2 % площади исходного изображения и быть замаскированной – не явно выраженной, при этом хорошо выполнять свою функцию, то есть заставлять нейросеть с большой уверенностью неправильно классифицировать объект на изображении.

С помощью рассмотренных выше примеров можно выделить основные характеристики пиксельных атак по способу модификации отправляемого изображения (табл. 1).

Как видно из табл. 1, нейросетевую модель можно обмануть, поработав над исходным изображением, которое изначально было классифицировано правильно.

Виды пиксельных атак различаются в сложности исполнения. Шумовые атаки и создание наклеек требуют определенных знаний о нейросетевой модели и особенностей ее архитектуры, а также достаточную мощность вычислительной техники. Для однопиксельных атак достаточно получать ответы нейросети. Но это не означает, что один пиксель хуже наклеек/шума обманывает нейросеть. Успех целевой атаки при изменении одного пикселя и при наложении наклейки практически одинаковый. Но стоит учитывать, что однопиксельные атаки сильнее «наклеек», так как один пиксель занимает менее 1 % от размера всего изображения, и измененный пиксель не заметен для человеческого глаза, в отличие от «наклейки», которая должна занимать от 2 % исходного изображения. К тому же при однопиксельной атаке пиксель обмана можно угадать – найти с помощью брутфорса. И это может сделать любой человек, который использует нейросетевую модель.

Сравнение методов модификации исходного изображения

Критерий	Изменение 1–5 пикселей	Наложение шума	Создание наклейки обмана
Заметность для человека	незаметно	незаметно	заметно
Занимаемая площадь на исходном изображении	менее 1 %	100 %	не менее 2 %
Доступ к нейросетевой модели [9]	не обязательно	обязательно	обязательно
Вычислительная мощность оборудования	низкая	средняя	высокая
Роль злоумышленника	Внешний пользователь	Разработчик, внешний пользователь	Разработчик

Способы решения проблемы

Исходя из критериев пиксельной атаки, описанных выше, можно составить испытательный стенд (рис. 1), на котором можно будет опробовать различные способы защиты нейросетевых моделей.

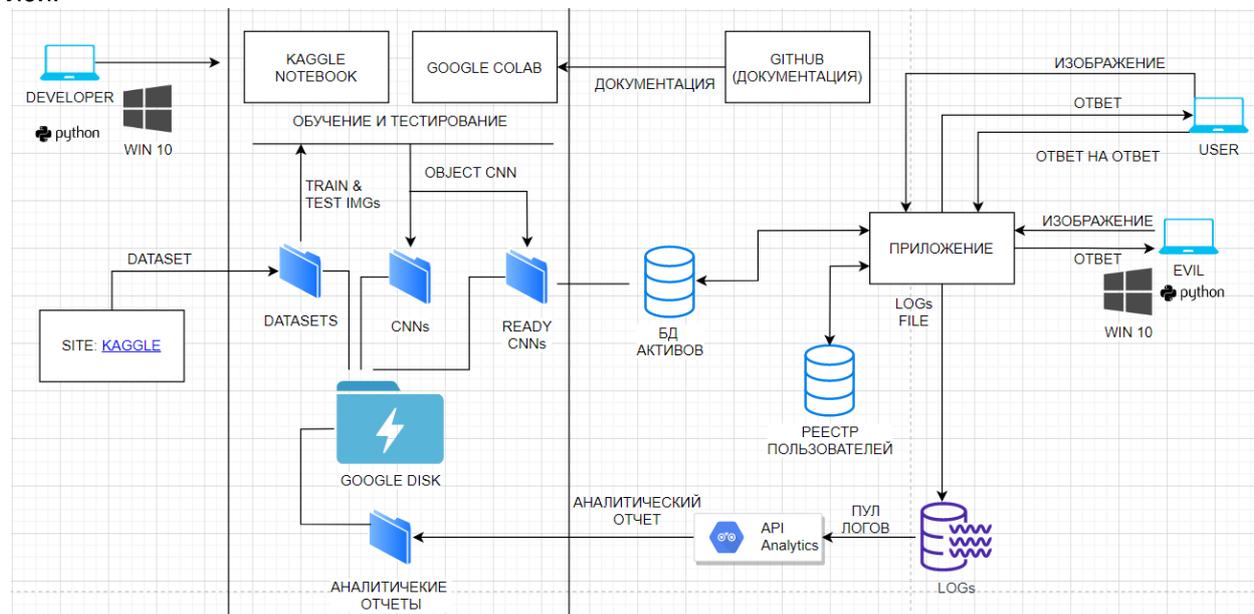


Рис. 1. Архитектура испытательного стенда

Испытательный стенд моделирует процесс использования модели на этапе эксплуатации. Внешние пользователи посылают изображения на распознавание и получают ответ – название класса. Для анализа происходящего и защиты нейросети в стенде используются следующие инструменты:

1. Тепловые карты. Для каждого класса создать тепловую карту [10]. При получении изображения на распознавание нейросетевая модель в таком случае делает двойную работу. То есть сначала определяет класс как есть, а потом определяет с удаленными пикселями по тепловой карте. И если результаты распознавания будут не совпадать, то нейросеть не сможет выдать ответ. Недостаток применения данного инструмента состоит в том, что у каждого изображения есть не один пиксель

для обмана. К тому же, при удалении (игнорировании) пикселей точность распознавания может значительно снижаться.

2. Создание иммунитета. Иммунитет идеально подходит для защиты нейросети от шумовых искажений. Но, как правило, он работает для случайных шумов. Для создания иммунитета от специально подобранных шумов будет необходимо привлекать дополнительных специалистов, а это дополнительное финансирование [11], [12].

3. Инъекции – добавление в исходный датасет модифицированных изображений, что вызывает некоторую противоречивость в обучающей и тестовой выборке. Могут создаваться на этапе сбора датасета. С помощью инъекций можно создать иммунитет. Но при применении инъекций точность распознавания снижается. К тому же большой пул инъекций может не оказать никакого влияния на нейросеть или, наоборот, сделает процесс обучения неэффективным.

4. Групповая работа нейросетей. Групповая работа может быть двух вариантов. В первом при распознавании работают две нейросети близнеца. Одна имеет функцию дообучения на практике, а другая нет. В таком случае разные ответы нейросетей может говорить либо о несовершенстве архитектуры, либо о попытке создания «оптической» иллюзии. Во втором при распознавании работают две и более нейросетей с разными архитектурами. При разных ответах пользователь получает наиболее популярный результат.

5. SIEM-система. Система предназначена для отслеживания и анализа работы нейросети (рис. 1). Использование SIEM-решения не защитит нейросетевую модель от атак, но позволит разработчикам сделать выводы о ее работе. Например, нейросеть может неверно работать не из-за атаки, а из-за неверно выбранных структуры обучения и архитектуры или некачественного составленного датасета, что будет видно из аналитических отчетов [13].

Заключение

Рассмотрев виды пиксельных атак, можно сделать вывод, что при их реализации нейросетевую модель можно обмануть с равновероятным успехом. Их отличие заключается в сложности реализации и сложности маскировки модификации изображения.

Нейросети можно защитить разными способами, которые требуют финансовых затрат и привлечение дополнительных специалистов. Но, прежде чем начать разрабатывать метод защиты, необходимо выделить функциональные требования, которые поможет составить SIEM-система. На основании этого можно будет выбрать одно из решений и составить гибрид. Например, совместить работу моделей-близнецов и удаление пикселей по тепловым картам.

Библиографический список

1. Бумажные очки оказались идеальным камуфляжем против нейросетей. URL: <https://nplus1.ru/news/2016/11/03/glasses> (дата обращения: 24.02.2022).
2. Нейросеть помогла обмануть систему распознавания лиц незаметным макияжем. URL: <https://nplus1.ru/news/2021/09/27/makeup> (дата обращения: 24.02.2022).
3. Картинка в руках обманула камеры видеонаблюдения. URL: <https://nplus1.ru/news/2019/04/22/adversarial-attack-on-cctv> (дата обращения: 24.02.2022).
4. Как обманывают искусственный интеллект. URL: https://www.cnews.ru/articles/2020-02-17_kak_obmanyvayut_iskusstvennyj_intellekt (дата обращения: 24.02.2022).
5. Электрокар Tesla попал в ДТП из-за сбоя продвинутого автопилота. Видео. URL: <https://www.autonews.ru/news/620220819a794757876d6d66> (дата обращения: 24.02.2022).
6. *Su J., Vasconcellos D.* One Pixel Attack for Fooling Deep Neural Networks. URL: <https://arxiv.org/pdf/1710.08864.pdf> (дата обращения: 21.10.2021).
7. *Ian J. Goodfellow, Jonathon Shlens & Christian Szegedy* Google Inc., Mountain View, CA. EXPLAINING AND HARNESSING ADVERSARIAL EXAMPLES. URL: <https://arxiv.org/pdf/1412.6572.pdf> (дата обращения: 17.10.2021).
8. *Brown T., Mané D., Gilmer J.* Adversarial Patch. URL: <https://arxiv.org/pdf/1712.09665.pdf> (дата обращения: 23.10.2021).

9. *Dang H., Huang Y., Chang E.* Evading classifiers by morphing in the dark. URL: <https://arxiv.org/pdf/1705.07535.pdf> (дата обращения: 21.10.2021).
10. *Su J., Vasconcellos D.* Understanding the One-pixel Attack: Propagation Maps and Locality Analysis. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2640/paper_4.pdf (дата обращения: 28.02.2022).
11. *Wang R., Chen T., Lindsly S.* Immuno-mimetic Deep Neural Networks (Immuno-Net). URL: <https://arxiv.org/pdf/2107.02842.pdf> (дата обращения: 27.02.2022).
12. *Mađry A., Schmidt L.* A Brief Introduction to Adversarial Examples. URL: https://gradientscience.org/intro_adversarial (дата обращения: 26.02.2022).
13. *Дрозд А.* Обзор SIEM-систем на мировом и российском рынке. URL: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Overview_SECURITY_systems_global_and_Russian_market (дата обращения: 26.02.2022).

УДК 628.9.06

А. Е. Трофимов

студент кафедры электромеханики и робототехники

И. В. Елтышева – старший преподаватель кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**РЕКОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ОСВЕЩЕНИЯ КОРПУСА № 1
«АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»**

Современный мир сложно представить без электричества. Энергетика и электроснабжение являются основой во всех сферах жизни человека, любые технологии требуют использования электроэнергии.

Каждый способен смириться, если в доме на время отключают горячую воду, но отсутствие электричества заставит нас изменить привычный ритм жизни, полное отсутствие электричества даже на короткий период является большой проблемой, это вызовет сбой в работе и убытки в экономике на любом предприятии, может стать причиной возникновения опасных ситуаций.

С развитием технологий развивается и электроснабжение. Новые приборы и механизмы потребляют большую мощность, выполняют больше функций и делают это эффективнее.

Рассмотрим процесс реконструкции электроснабжения и освещения третьего этажа корпуса № 1 «Академии транспортных технологий». Для этого необходимо:

- проанализировать систему электроснабжения объекта выбрать и рассчитать соответствующее электрооборудование, защитную аппаратуру, питающую и распределительную сеть;
- выбрать и рассчитать осветительные приборы для обеспечения общего, аварийного и эвакуационного освещения объекта;
- применить энергосберегающие технологии для электрооборудования объекта реконструкции, провести энергоаудит, определить энергоэффективность оборудования.

Объект реконструкции представляет собой этаж общественного здания. Энергосистема объекта рассчитана на напряжение 380/220В, поэтому в распределительных пунктах ввод трехфазный – 380 В, который делится на фазы по 220 В, нагрузка которых должна быть равномерной [1]. Все оборудование объекта работает на переменном напряжении в 220 В. Электроснабжение объекта осуществляется из двух щитовых, расположенных в правом и левом крыле этажа, которые в свою очередь получают питание из двух автоматов в ГРЩ.

Электрооборудование объекта относится ко второй категории электроснабжения, поскольку объект – этаж общественного здания.

Электроснабжение в первую очередь должно быть безопасным, поэтому проводники и специальное защитное оборудование выбираются исходя из норм и требований (ПУЭ, ГОСТ СНИП), которые предъявляются для конкретного объекта.

Система электроснабжения организации пятипроводная – TN – S.

Питающая сеть объекта реконструкции выполнена кабелем марки АПВ. Распределительная сеть выполнена трехжильным кабелем марки ВВГнг. Кабель распределительной сети проложен в подвесном потолке и специальных коробах, непосредственно перед кабинетом, разделяется в распределительных и клеммных коробках. Организация, в которой расположен объект, работает в одну смену по 8 часов.

Для соблюдения противопожарной безопасности на территории объекта реконструкции расположены три пожарных выхода, поэтому должно быть соответствующее аварийное, эвакуационное освещение, установлены датчики дыма, пожарные извещатели.

На этаже используется розеточная сеть и освещение. Питание светильников осуществляется напряжением 220 В. Для управления внутренним освещением коридоров и экономии электроэнергии установлены специальные датчики движения.

Всего на этаже расположено 28 кабинетов, 18 из которых учебные аудитории, 7 лаборантских, кабинет учебной и методической части.

Система электроснабжения объекта представляет собой обеспечение потребителей электрической энергией из двух щитовых по распределительным сетям.

Освещение в кабинетах объекта осуществляется люминесцентными светильниками ЛВО06 ВРР 031 4x18 Вт, в коридорах установлены светодиодные светильники Армстронг 30 Вт стандарт.

В данном проекте реконструкции расчет общего освещения объекта производится с использованием светодиодных светильников CSVТ HIGHTECH-32 стандарт и KROKUS-PANEL-34 [2]. Светильники рабочего освещения выбираются для объекта реконструкции с учетом того, что потребляемая мощность не превышает 50 Вт, световой поток не менее 3000 лм, степень защиты не ниже IP40.

Расчет внутреннего освещения объекта реконструкции

Расчет внутреннего освещения коридоров и аудиторий объекта реконструкции производится методом коэффициента использования светового потока, который применяется для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей и нахождения мощности светильников [2].

Исходные данные для расчета освещения помещений объекта реконструкции:

- норма освещенности для учебных аудиторий $E_{норм} = 450$ лк;
- высота рабочих поверхностей аудиторий $h_p = 0,8$ м;
- высота учебных аудиторий (до подвешеного потолка) $h_{пом} = 3$ м;
- высота свеса светильников $h_{свеса} = 0$ м, поскольку светильники встраиваются в подвесной потолок;
- коэффициенты отражения $\rho_p = 50\%$, $\rho_c = 30\%$, $\rho_{п} = 20\%$;

Расчет освещения представлен на примере аудитории № 322.

Рассчитываем площадь аудитории № 322 S , м² по формуле

$$S = a \cdot b,$$

Подставляя значения, получаем

$$S = 9 \cdot 6 = 54 \text{ м}^2$$

Расчетная высота h_p , м определяется по формуле

$$h_p = h_{пом} - h_{свеса} - h_{раб. пов},$$

где $h_{пом} = 3$ м – высота помещения;

$h_{раб. пов} = 0,8$ м – высота рабочей поверхности;

$h_{свеса} = 0$ м – высота свеса светильника.

Подставляя значения, получаем:

$$h_p = 3 - 0,8 - 0 = 2,2 \text{ м}.$$

Индекс помещения i определяется по формуле

$$i = S / (h_p \cdot (a + b))$$

Подставляя значения, получаем:

$$i = 54 / (2,2 \cdot (9 + 6)) = 1,63 \approx 1,5.$$

Расчет освещения производится для двух различных моделей светильников, CSVТ HIGHTECH-32 стандарт и KROKUS-PANEL-34, в результате расчета которых будет выбран наиболее подходящий.

Кривая силы света светильника CSVТ HIGHTECH-32 стандарт представлена на рис. 1.

Наиболее подходящий источник освещения CSVТ HIGHTECH-32 стандарт, он обладает большим световым потоком, меньшей потребляемой мощностью, что важно при выборе большого числа светильников и имеет контакт заземления корпуса.

Результаты расчетов количества светильников в аудиториях, коридоре объекта реконструкции и расчетная нагрузка представлена в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика светильника CSVT HIGHTECH-32 стандарт [3]

Мощность светильника $P_{ист. св.}$, Вт	32
Цветовая температура, К	5000
Световой поток $\Phi_{ст.}$, лм	3700
Степень защиты	IP40
Тип кривой силы света	Д
Напряжение сети, В	220
Коэффициент мощности	0,97
Наличие клеммы заземления	есть
Цена, руб.	1990

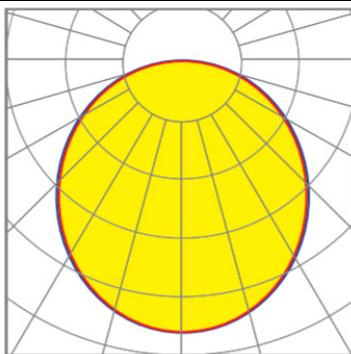


Рис. 1. Кривая силы света светильника CSVT HIGHTECH-32 стандарт

Таблица 2

Помещение	Количество светильников, шт	Расчетная нагрузка $P_{общ. св.}$, Вт
Кабинет 301	18	576
Кабинет 302	18	576
Кабинет 303	15	480
Кабинет 304	21	672
Кабинет 305	24	768
Кабинет 306	6	192
Кабинет 322	18	576

Выбор системы управления внутренним освещением

Современные технологии автоматического управления освещением позволяют задать условия срабатывания освещения и управлять им в зависимости от заданного алгоритма. Такое автоматическое управление освещением это один из способов экономии электроэнергии, освещение будет срабатывать только при появлении людей за счет использованием датчиков движения. Датчики движения управляют светильниками, которые располагаются рядом.

Предложение по управлению освещением – использовать датчики движения вместе с программируемым реле Oni. Программируемое реле принимает сигнал от восьми датчиков движения, каждые два датчика отвечают за четверть освещения коридора крыла этажа.

При срабатывании одного из двух датчиков, который отвечает за часть освещения коридора, загорается соответствующая четверть освещения.

При срабатывании двух или более датчиков, расположенных в разных частях коридора, освещение срабатывает полностью во всем коридоре.

Реализованный в программе Oni PLR алгоритм на рис. 2.

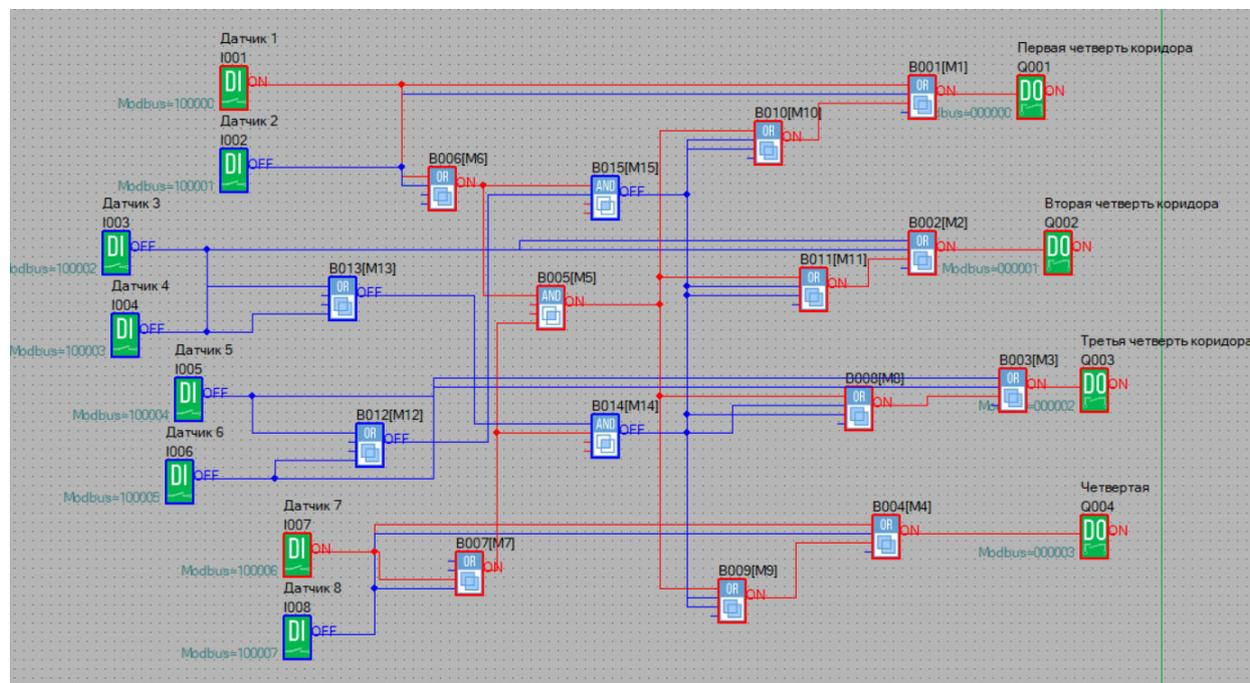


Рис. 2. Алгоритм работы системы освещения

Энергосберегающие технологии на объекте реконструкции

Согласно Федеральному закону № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» здания и сооружения должны соответствовать требованиям энергетической эффективности. Для повышения энергетической эффективности на объекте реконструкции в некоторых кабинетах объекта предусмотрено комбинированное освещение, разделенное по частям аудитории, это позволяет использовать не все светильники сразу.

На территории объекта предусмотрены датчики движения для управления внутренним освещением коридоров этажа, что позволяет использовать освещение не постоянно и снизить потребление электроэнергии.

Для уменьшения оплаты потребления электроэнергии проектом предусмотрено использование двухтарифного счетчика.

В результате выполнения проекта, реконструкции системы электроснабжения третьего этажа СПб ГБПОУ «АТТ», заменена распределительная сеть освещения и силового оборудования. Составлена однолинейная схема электроснабжения для каждого крыла этажа [4].

Для освещения помещений объекта выбраны современные светодиодные светильники, количество которых рассчитано методом использования коэффициента светового потока. Замена и установка светильников в проекте выполняется согласно составленной технологической карте. Аварийное освещение объекта рассчитано в специальной программе и смоделировано для части коридора объекта.

Реконструкция объекта предусматривает введение автоматизированных систем управления внутренним освещением коридоров с помощью датчиков движения и освещенности, сигнал работы которых обрабатывается программируемым реле Oni, которое в свою очередь работает по заданному алгоритму. Освещение аудиторий и помещений включается в шахматном порядке двухклавишными выключателями.

Итоговая ведомость потребления электроэнергии за сутки

Наименование потребителя	Количество потребителей, шт	Потреблении единицы за сутки, кВт/ч	Полное потребление за сутки, кВт/ч	Цена за сутки, руб.
Освещение аудиторий	438	0,16	70	380
Компьютер и его составляющие	40	1,2	48	260
Освещение коридоров	34	0,096	3,42	19
Информационные мониторы	2	1,2	2,4	13
Итого	-	19	155	842

Выбрана аппаратура для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки также от возможных токов утечки и пожара. Оборудование проверено на защиту и дальнейшую работу при возникновении токов короткого замыкания [5].

План предусматривает установку двухтарифных счетчиков в электрощитовые для контроля потребления электроэнергии.

Как итог, замена светильников позволит сократить расход и оплату электроэнергии объекта на 34 %.

Библиографический список

1. Федеральный закон № 261 ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // energosovet. URL: <http://www.energosovet.ru/fzakon.html> (дата обращения: 04.06.2021).
2. Расчет светодиодного освещения помещений // LIGHTPOLUS. URL: <https://lightpolus.ru/2019/08/22/raschet-svetodiодного-osveshheniya-pome-shhenij> (дата обращения: 28.05.2021).
3. Характеристика светильника CSVT HIGHTECH-32 // СК Паллор. URL: https://www.pallor.ru/files/price/o_38868.pdf
4. Володькина Т. А., Потапова Ю. В. Справочник по электроснабжению: метод. пособие. СПб.: АТТ, 2019. 60 с.
5. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий: учеб. для студ. проф. Образования. М.: Издательский центр Академия, 2006. 368 с.

УДК 621

А. А. Тюрина

студентка кафедры электромеханики и робототехники

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ МЕТОДИК ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В современном мире невозможно исключить из своей жизни электроснабжение бытовой техники, гаджетов и т. д. Все системы электроснабжения стараются автоматизировать, чтобы человек не задумывался о их техническом обслуживании и ремонте. Для этого существуют различные методики диагностирования и ремонтные алгоритмы, которые помогают уменьшить затраты на замену частей системы электроснабжения, повысить эффективность работы.

При оценивании эффективности системы электроснабжения главным показателем, который существенно влияет на работоспособность системы, является надежность. Именно она становится основополагающим при диагностировании отказов и нахождении источников дефектов. Автоматические системы прогнозируют качество и длительность работы электрооборудования, считывая различные сигналы с помощью роботизированной системы диагностирования состояния аппаратуры.

Уменьшение затрат является основной задачей при создании системы диагностирования. Чтобы просчитать длительность работы оборудования, учитывают множество параметров: надежность, причины и источники отказов, время ремонтных работ. У каждой системы есть жизненный цикл, который тоже может быть просчитан, чтобы определять срок службы оборудования. Именно для этого и существуют различные методики диагностирования технического состояния электросистем.

В прогрессирующем мире техники уже выявлены основные методы диагностики электрооборудования, но, как и изменяющиеся системы, они должны быть изменены под каждую систему. Невозможно просто воспользоваться каким-то методов для прогнозирования отказов. Чтобы повысить надежность системы и определить качество работы системы электроснабжения, под каждый проект подгоняется какой-то из основных методов диагностирования: план по сбору данных с датчиков, определение алгоритма диагностики и ремонта, прогнозирование отказов, мобильное управление системой и ее отказами, нахождение источников дефектов и планирование ремонтных работ.

Во время определения методики диагностирования и технического обслуживания должно быть определено количество отказов системы в различные моменты работы. Чтобы техническая диагностика прошла с наибольшим по вероятности положительным и менее затратным исходом или результатом работы системы, производится анализ неисправностей, учитываются не только присутствующие отказы и их причины, но и условия работы системы. Для этого могут быть использованы различные модели системы, с помощью которых можно с легкостью прогнозировать ремонтные работы и появление дефектов и отказов.

На примере силового оборудования можно рассмотреть техническую диагностику, в процессе которой анализируется состояние электрооборудования. Использованная модель данного оборудования может показать вероятные отказы и дефекты, что поможет определить методику диагностирования этих отказов и дефектов. К тому же эта модель поможет контролировать работу системы, что непременно приведет к повышению эффективности и надежности оборудования. Даже при незначительных дефектах разработанная модель может предупредить о скорых отказах какой-то части системы, что скажется на затратах на ремонтные работы.

Имеется два пути разработки методики диагностирования: определение отказов и их источников и повышение эффективности работающей системы. Отталкиваясь от первого, опора идет на работоспособность и надежность существующей системы, которую контролируют и диагностируют отказы в настоящем времени. Если говорить о втором варианте, то во время работы системы происходит анализ состояния оборудования и прогнозирование отказов. То есть дефекты могут быть определены намного раньше, чем произойдет тот самый отказ части системы.

Жизненный цикл электросистемы определяется ее составляющими: если в большем количестве присутствует оборудование, которое уже близится к истечению своего срока службы, то сама

система станет непригодной для работы и будет проще произвести замену всех устройств, что будет менее затратным, чем произвести ремонтные работы. Если в системе электроснабжения устройства были введены в работу совсем недавно, то это очень сильно повлияет на появление отказов, например, не придется следить за всей системой постоянно. Появится возможность локально анализировать состояние системы в отдельных ее частях, где у оборудования более длинный жизненный цикл, потому что у этого оборудования с большей вероятностью могут произойти отказы.

Одним из методов диагностирования отказов является системный метод [1]. Каждая подсистема посылает свои данные о работе в общую, которая может произвести системный анализ. То есть с каждого участка электрооборудования при одних и тех же условиях работы считываются данные по дефектам и по их начальным условиям появления, которые используются для определения методики диагностирования отказов.

После того как будет собрана информация о работе каждого участка электросистемы, производится анализ данных. Обработка этих данных помогает определить условия возникновения дефектов и неисправностей, что можно показать графически, и предугадать момент появления отказов. Чтобы оценка состояния системы электрооборудования смогла все собранные данные считать верно и не потерять важные детали о техническом состоянии каждой подсистемы, создается специальный метод или план, по которому роботизированная система учитывает важные данные, все условия возникновения отказов и предупреждает о ремонтных работах, если такие будут нужны по истечению срока службы оборудования.

После анализа состояния системы производится составление плана технического обслуживания или ремонтных работ электрооборудования.

Существуют различные основные методы диагностирования. Одним из них является распространенный тепловизионный метод, который показывает тепловую картину системы электроснабжения [2]. С помощью телевизионного оборудования собираются данные о температурном поле поверхностей системы. Далее создается термокартина работающей системы в инфракрасном спектре. Она показывает дефекты температурного фактора, которые человек не может увидеть без специального оборудования. Чтобы использовать этот метод, например, на маслонаполненных баках, трансформаторах или конденсаторах, нужно запастись некоторым набором устройств: измеритель температуры воздуха и его влажности, тепловизор, фонарь и др. Так как этот метод часто применяется, у него имеется множество достоинств: высокая безопасность применения, достоверность измерений, малые затраты на оборудование. К недостаткам можно отнести то, что при измерениях учитываются только термоизмерения, которые могут не считать каких-то других источников отказов системы.

Следующим методом, который применяется для диагностирования состояния системы, является метод выявления источников внутреннего выделения газов. Он производится с помощью акустических датчиков, которые определяют источники выделения и оценивают выбросы газов, их характеристики и концентрацию утечки. Достоинством является простота, а недостатком – внешние помехи, которые могут установить неточное расположение места отказа.

Чтобы исследовать трансформатор на неисправности и из источников, применяется метод диагностики по вибрационным параметрам. Исследуются и анализируются состояния обмоток и магнитопроводов трансформаторов. С помощью такого метода определяются внешние и внутренние дефекты.

Применительно к трансформаторам существует метод по параметрам нулевой последовательности. В нормальном режиме работы совершаются электроизмерения фаз тока в нейтральном проводнике, напряжения в обмотках. Достоинством является непрерывное считывание сигналов, а недостатком – работа трансформатора порой не показывает изменения сигналов, что мешает определению отказов и неисправностей.

Как только будет определен метод, по которому будет производиться диагностика электрооборудования, можно будет говорить о повышении надежности системы в общем и целом. В основном система электроснабжения состоит из тех же трансформаторов, которые используют различные электрические сигналы в требуемые параметры. На примере маслонаполненных баков тоже можно проследить усовершенствование методик диагностирования отказов и повышения надежности систем.

Основополагающим фактором для развития методик диагностирования является задача по уменьшению затрат на ремонтные работы и на техническое обслуживание электрооборудования. В совокупности с уменьшением непрофессионального технического персонала, уменьшением затрат на обучение персонала, повышение безопасности на объектах и соблюдение плана ремонтных работ приводит к повышению эффективности работы системы электроснабжения. Это является актуальной задачей в современном мире. План, разработанный при прогнозировании отказов и дефектов, может помочь контролировать каждый узел электросистемы.

Для создания полностью автоматизированных систем для всех видов оборудования должны быть разработаны критерии, в которых будут формализованы физико-математические описания рабочих, неисправных, аварийных и других состояний оборудования в зависимости от результатов контроля параметров их оборудования.

Библиографический список

1. Хальясмаа А. И. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учеб. пособие. Екатеринбург, 2015. 64 с.
2. Ершов С. В., Дмитриев А. М. Анализ методик и подходов к проблеме диагностирования технического состояния сетей электроснабжения. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodik-i-podhodom-k-probleme-diagnostirovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-setey-elektrosnabzheniya/viewer> (дата обращения: 21.03.2021).

А. А. Тюрина

студентка кафедры электромеханики и робототехники

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В современном мире потребление электроэнергии является незаменимой частью каждого человека. Вся бытовая техника, освещение, гаджеты и другие электрические устройства требуют большого объема работ по обслуживанию линии электропередач, которая преобразует напряжение и передает электричество по линиям. Актуальность задачи по диагностированию технического состояния электрооборудования подтверждается существующей на сегодняшний день проблемой затратных ремонтных работ.

Системы электроснабжения – совокупность систем производства, передачи и преобразования электроэнергии. Работа системы электроснабжения определяется несколькими требованиями:

- 1) надежность;
- 2) бесперебойность;
- 3) безопасность;
- 4) качество.

Чтобы обеспечивать надежность электрооборудования, стоит учесть все параметры, которые выдает система при эксплуатации. Надежность всей системы напрямую зависит от надежности подсистем электрооборудования. Например, неисправность на каком-либо участке системы электроснабжения может привести к сбою всей системы, что повлечет за собой непредвиденные затраты на ремонтные работы и замену каких-то аппаратов, датчиков и т. д. Для того чтобы такого не происходило, были выведены основополагающие методики диагностирования технического состояния электрооборудования, которые прогнозируют отказы и неисправности, тем самым уменьшая затраты на ремонт.

Разработанная методика диагностирования отказов для электросистемы сможет не только уменьшить экономическую часть, но и повысит надежность и безопасность системы. К тому же автоматизированная система диагностики предполагает уменьшение трудозатрат, то есть понадобится меньшее количество специалистов, обслуживающих данную систему.

Возникновение отказов характеризуется источником появления дефектов. У каждого оборудования имеется жизненный цикл, который система диагностики должна учитывать при прогнозировании дефектов и неисправностей. На разных этапах эксплуатации оборудования можем определить основные стадии появления отказов, дефектов:

- 1) нормальное состояние;
- 2) ошибка на начальном этапе разработки;
- 3) сильно развитая ошибка;
- 4) аварийная ситуация.

Все отказы, возникающие при работе электросистемы, можно предугадать, зная факторы, которые влияют на их появление. Это может быть как человеческий фактор, внешний фактор из окружающей среды, так технический аспект. В любом случае это приводит к неисправностям, которые требуют незамедлительный ремонт или замену деталей или всего оборудования в общем и целом. Анализируя полученные данные с систем с помощью какого-либо метода диагностирования, можно определить текущее состояние всей электросистемы. К сожалению, каждый метод, придуманный для разного вида электрооборудования, не может идеально подойти к какой-то системе, поэтому все эти методы берут за основу, а на их характеристиках уже индивидуально создаются алгоритмы ремонтных работ. В любом случае в основе методов лежит либо вывод непригодного оборудования из эксплуатации, либо замена какого-то элемента одной из подсистем, которая вышла из строя.

Существуют основные виды ремонта аппаратуры электросистемы: аварийный, предупредительный, по техническому состоянию и по актуальному состоянию [1]. Прежде чем производить ремонтные работы, производится диагностика технического состояния системы. Собираются данные с системы, определяется причина, место и характеристики отказов. Если автоматизированная система

сообщает о какой-то неисправности или ее будущем возникновении, производится более тщательная оценка состояния отдельного участка электросистемы, чтобы рассчитать время ухудшения состояния элемента оборудования или просчитать алгоритм замены. Даже при отдельной диагностике какого-то узла электросистемы производится расчет вероятности отказов в других подсистемах, чтобы уточнить влияние появившегося дефекта на каждый участок системы.

Чтобы уменьшить вероятность появления неисправностей, при создании системы электроснабжения рассчитывается отношение времени работы к сумме времени работы и аварийных работ, которое называется бесперебойность.

У каждого оборудования есть свой жизненный цикл. Пока оборудование выполняет предписанные работы в системе, оно становится с каждым моментом времени ближе к истечению срока эксплуатации. Поэтому в работу по определению метода диагностики технического состояния электросистемы включается эффективность и ее повышение.

Чтобы уменьшить затраты на обслуживание и ремонт всей системы, создается автоматизированная система, которая считывает сигналы об отказах по каждому узлу. Далее система сообщает о наличии неисправностей, которые в срочном порядке должны быть устранены, об отказах, которые могут остановить работу всей системы, о том, какие дефекты могут появиться в скором времени на работающих продолжительное время без технического обслуживания в системе элементах.

В основном в системах электроснабжения используют системный метод диагностики. Он позволяет разделить большую систему на подсистемы, тем самым становится проще следить за общим состоянием, считывая данные с каждого участка электрооборудования. И в таком методе могут быть сразу затронуты надежность, бесперебойность, эффективность и качество работы системы [2].

Тестовая диагностика позволяет выполнить диагностику оборудования, но с низкой информативностью.

Без вывода электрооборудования из эксплуатации применяется функциональная диагностика, которая показывает техническое состояние системы в реальном времени. Пока система работает в нормальном режиме, автоматизированная система диагностики определяет источники отказов, все имеющие дефекты.

В общем и целом, система диагностики технического состояния должна оценивать реальное состояние системы и определять алгоритм ремонтных работ, если они действительно требуются. В совокупности этот комбинированный метод максимально повышает эффективность всей электросистемы. Сначала производится диагностика технического состояния: считываются данные с каждого участка системы, производится анализ состояния, поиск дефектов и неисправностей. С помощью анализа состояния системы можно произвести прогнозирование отказов, что поможет создать план или алгоритм по ремонтным работам.

Все прогнозирование сводится к оценке вероятности отказов при условии максимально долгой безотказной и безопасной работе системы электроснабжения. Чтобы эффективность прогнозирования давала положительный результат (даже на экономическую составляющую), нужно учитывать и знать математические ожидания количества дефектов, их критическое значение, зависимость размеров ремонтных работ от дефектов и другие вероятностные характеристики.

В основном план по диагностике и прогнозированию такой: производится оценка состояния системы, обнаруживаются источники отказов и дефектов, составляется или прогнозируется план ремонта.

На основании полученных данных о работе элементов системы производится ряд мероприятий для повышения надежности, бесперебойности, безопасности и качества работ в системе электроснабжения. Зная о начальных стадиях появления опасных дефектов, можно предугадать и предотвратить аварийное состояние системы, которые требуют максимальных экономических затрат. Гибкое планирование ремонтных работ позволит не выводить из эксплуатации всю систему, что повлечет к уменьшению трудозатрат и к повышению эффективности и бесперебойности системы.

Проблема и актуальность создания методик диагностирования состоит в том, что каждая система электроснабжения индивидуальна. Поэтому основные методы в рамках испытаний подстраивают под существующую систему, чтобы диагностика состояния и прогнозирование отказов смогли как можно быстрее и эффективнее создать план ремонтных работ или дать их прогноз.

Библиографический список

1. Хальясмаа А. И. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учеб. пособие. Екатеринбург, 2015. 64 с.
2. Ершов С. В., Дмитриев А. М. Анализ методик и подходов к проблеме диагностирования технического состояния сетей электроснабжения. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodik-i-podhodov-k-probleme-diagnostirovaniya-tehnicheskogo-sostoyaniya-setey-elektrosnabzheniya/viewer> (дата обращения: 19.03.2021).

УДК 681.63

Я. М. Фадеев

ученик ГБОУ СО школы № 612

Д. Г. Левченко, Р. В. Рудаков – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В КОСМОСЕ

Космическое пространство, космос – относительно пустые участки Вселенной, которые лежат вне границ атмосфер небесных тел. Его изучение важно для создания полноценного представления о нашем мире. Перед робототехническими системами в космосе ставятся разные задачи: монтажные операции, обработка информации, извлечение научных данных – но все они склоняются к одной цели – уменьшению объема работ, выполняемых человеком в космосе. При работе робототехнической системы в космосе количество требований к ней увеличивается в связи с изменениями условий ее работы. Она должна быть максимально легкой, способной переносить перегрузки, обеспечивать себе оптимальную температуру для своей работоспособности, самостоятельно извлекать электроэнергию и передавать данные в пункт управления. Аппаратам, целью которых является взятие проб грунта небесного тела и его химического анализа, присущи требования к стерильности. Однако стерильность материала, а значит, отсутствие на нем углеводородного, окисленного слоя приводит к изменениям его свойств. Сила трения между металлическими деталями увеличивается во много раз. При таких изменениях свойств материала принципы робототехники в космосе начинают сильно отличаться от тех, что сложились на Земле, в земных условиях.

Первые планетоходы

Психофизические ограничения не позволяют человеку справляться со многими видами работ в космосе, поэтому их выполнение поручается автоматическим системам.

Первыми реальными примерами применения средств робототехники в космическом пространстве являются манипуляторы для взятия проб грунта советскими и американскими космическими кораблями, осуществившими посадку на Луну, Марс и Венеру.

Автоматические межпланетные станции, планетоходы являются, по сути, сложными интеллектуальными роботами, поскольку из-за больших задержек передачи сигнала телеуправление ими в реальном времени практически невозможно [1].

Идея создания самоходных аппаратов-разведчиков для исследования космических объектов (планет и спутников) родилась в начале 1960-х годов в знаменитом ОКБ-1 (опытно-конструкторское бюро), которым руководил С. П. Королев.

Космороботы – это автоматические системы, приспособленные работать в космическом пространстве. Преимущество автоматических систем перед человеком заключается в том, что они могут работать в крайне неблагоприятных условиях и обходиться без каких-либо ресурсов, так как в большинстве случаев работают на солнечных батареях. Также гораздо легче будет пережить потерю такого робота, чем гибель космонавта. Обычно задача косморобота заключается в проведении какой-нибудь научной деятельности.

Луноход-1 (рис. 1) – первый в мире дистанционно управляемый самоходный аппарат, успешно работавший на Луне. Был создан для изучения лунного грунта, радиоактивного и рентгеновского излучения. На поверхность Луны он был доставлен 17 ноября 1970 года советской межпланетной станцией «Луна-17».

Электричество автоматическая система брала из солнечной батареи, установленной у него на крышке приборного отсека. Мощность батареи была равна 180 ватт. Также в систему энергоснабжения лунохода входили химические буферные батареи. Разворачиваясь, крышка с солнечной батареей одновременно открывала радиатор, необходимый для охлаждения приборов в герметичном контейнере. В качестве глаз у Лунохода-1 были две телекамеры. В них было применено малокадровое телевидение с частотой смены кадра от 1 кадра в 4 секунды до 1 кадра в 20 секунд.

Луноход-1 проработал в три раза дольше запланированного срока, успев проехать 10 540 м, передав на Землю 211 панорам и около 25 000 фотографий. Проработав чуть больше 301 дня, он не вышел на связь с Землей в связи с выработкой изотопного источника теплоты, поддерживающего тепло внутри лунохода. Питание луноход получал днем от солнечных батарей, ночью – от небольшого ядерного реактора. У него было две телекамеры, телефотометры, рентгеновские и радиационные измерительные приборы, остронаправленная антенна и прочая техника.

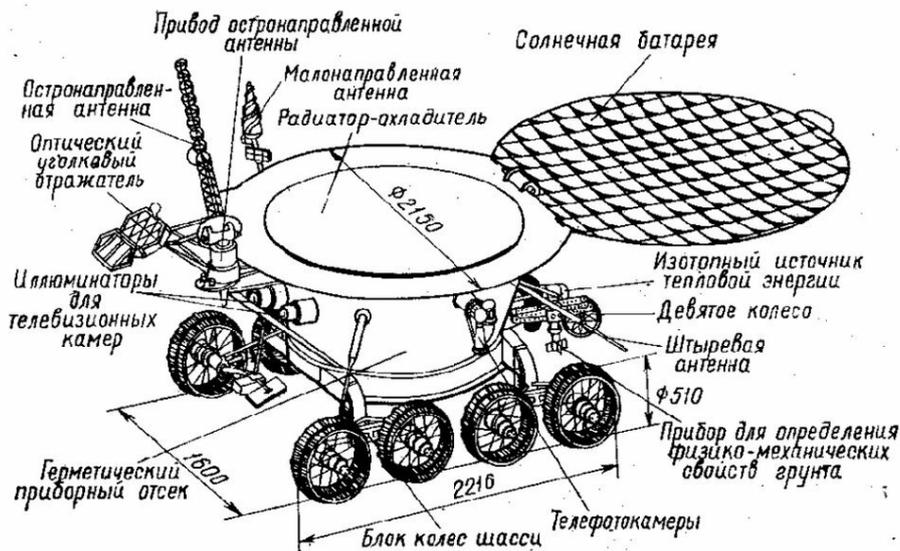


Рис. 1. «Луноход-1»

Руководство «космическим путешественником» располагалось в Симферопольском центре космической связи.

Командный радиосигнал преодолевал этот путь за 2,5 секунды, то есть с такой задержкой аппарат реагировал на команды водителя. Управлялся лунный вездеход с Земли сменными экипажами по пять человек в каждом: командир, водитель, бортиженер, штурман и оператор антенны. Экипажи сменяли друг друга каждые два часа. Изначально планировались более длительные сеансы, однако практика показала, что **120 минут – это почти предел возможностей даже для специально подготовленных людей**. На мониторе наблюдался ряд статичных картинок, О. Г. Ивановский назвал это «слайдовидением». **На передачу одного кадра в зависимости от рельефа уходило от 3 до 20 секунд!** Все это время оператор видел перед собой только предыдущую картинку – то место, где «Луноход» был раньше. Таким образом, каждое движение аппарата точно просчитывалось, на сколько метров вперед или назад, на какой угол и в каком направлении нужно развернуться. На корпусе «Лунохода-1» имелся целый комплект антенн для связи с Землей, включая пять малонаправленных (одну дециметрового диапазона и четыре штыревые, метрового) и одну остронаправленную, за наведение которой в составе экипажа отвечал специальный оператор.

Помимо антенн, на корпусе аппарата располагался углокадовый отражатель, позволивший уточнить расстояние до Луны с повышенной точностью. Посылая на него с Земли лазерный луч и ловя отражение, ученые провели около двадцати измерений, что позволило им определить, что Луна отдаляется от Земли со скоростью примерно 3,8 см в год. Последнее из измерений удалось сделать уже в 2010 году, после 38-летнего перерыва.

Колеса «Лунохода-1» (рис. 2) имели по три титановых обода, покрытых сеткой из нержавеющей стали (7) и соединенных грунтозацепами (6). Они не соединялись друг с другом: расчет состоял в том, что если одно колесо попадет в яму или наткнется на непреодолимое препятствие, аппарат сможет его

отбросить, как ящерица хвост, зажатый в зубах хищника, а сам продолжит движение на оставшихся колесах. Впрочем, эта способность луноходу так и не пригодилась. Каждое колесо восьмиколесного лунохода имело свой двигатель (1) и тормоз, вместе они являлись инструментом для выполнения маневров разворота, что позволяло ему объезжать глубокие кратеры и небольшие скалы. В качестве приводов использовали электродвигатели для обеспечения минимальной массы аппарата [2].

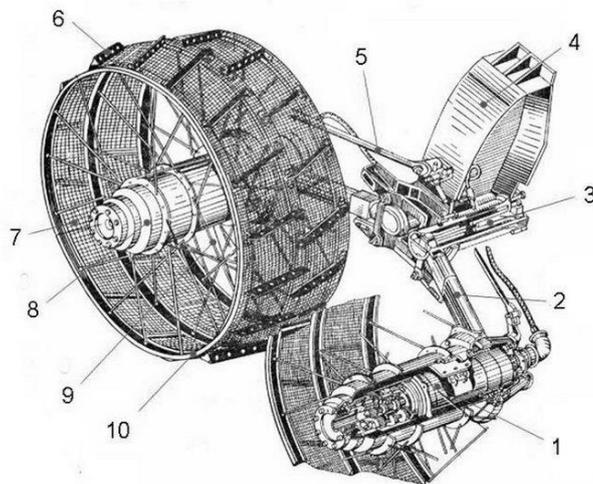


Рис. 2. Колеса «Лунохода-1»

Зонды и планетоходы являются важной частью космических исследований. Их использование позволяет сэкономить огромное количество средств на ресурсах жизнедеятельности человека: еды, воды, кислорода, в конечном итоге ракетного топлива, избежать чудовищных рисков исследования неизученных объектов. Кроме того, они стали неотъемлемой частью человеческого общества: обеспечивают связь, наличие Интернета, геолокации. Ими производится мониторинг атмосферы и поверхности планеты.

Космическая робототехника также имеет большие перспективы в направлении работы за пределами космических аппаратов. Сейчас это стало особенно актуально в связи с загрязнением околоземного пространства космическим мусором: отработанными ступенями ракет, не дееспособными спутниками, осколками от столкновений. Несмотря на постоянный мониторинг их расположения, некоторые объекты настолько маленькие, что отследить их практически невозможно, они подвергают опасности жизни космонавтов, находящихся за пределами космического корабля, так как скафандр космонавта, в отличие от защитного слоя аппарата, не способен противостоять им. В этих условиях работы менее уязвимы. Роботов, способных полностью заменить космонавтов в открытом космосе, еще не существует, но к подобным им можно отнести роботов-манипуляторов. Они используются на МКС для точной стыковки модулей станции, перемещения грузов различного размера, помощи в ремонте и обслуживании модулей и других устройств, прикрепленных к станции. В настоящее время на ней установлено множество манипуляторов, наиболее известным является система MSS. Она устанавливается на платформу MBS, представляющую собой рельсы, проложенные по внешней стороне станции, она значительно расширяет зону действия манипулятора. MSS управляется дистанционно со станции и с Земли джойстиком управления: один отвечает за включение крана, вращения, другой контролирует движение продольного ручного контролера. Однако этот манипулятор не может работать на российском сегменте МКС. Основным манипулятором российского сегмента является ERA (рис. 3). ERA состоит из автономного манипулятора, включает в себя пункт управления, размещенный на станции, наружный и наземный пульта управления. Манипулятор ERA является симметричным

механизмом, имеющим семь степеней подвижности. Он имеет в длину 11 м и состоит из следующих частей:

- двух одинаковых симметричных секций, длиной около 5 м, сделанных из углепластиковых труб и креплений из алюминиевых сплавов (англ. limbs);
- двух полностью идентичных универсальных присоединительных устройств (англ. End Effectors, EE – концевые эффекторы). Рабочим органом манипулятора может служить любой концевой эффектор, в то время как другой будет зафиксирован на одной из нескольких базовых точек, размещенных на внешней поверхности станции, которые оборудованы коммуникационной аппаратурой, используемой для передачи команд управления от оператора. Любой вид полезной нагрузки, перемещаемой манипулятором ERA, должен иметь специальные такелажные элементы для надежного захвата их концевым эффектором.
 - Двух шарнирных суставов с тремя шарнирами в каждом.
 - Одного «локтевого» шарнира.
 - Управляющего компьютера ECC, размещенного внутри манипулятора. В памяти ECC содержатся данные о пространственном положении элементов станции, которые необходимы для выполнения требуемых операций. Данные передаются на ECC с наземного пункта управления ERA, вычислительная система которого производит предварительное моделирование всех выполняемых манипулятором операций.
 - Четырех камер и осветительных устройств [3].



Рис. 3. Манипулятор ERA

Как один из недавно запущенных научных аппаратов можно рассмотреть зонд «Паркер» (рис. 4). Основными научными целями миссии являются изучение процессов перемещения энергии и тепла через солнечную корону, причин ускорения солнечного ветра, а также частиц солнечной энергии [4]. Высота зонда 3 м, он имеет теплоустойчивый экран, состоящий из трех слоев: двух наружных из углеродного композита, одного внутреннего теплоизоляционного пенообразного. Он оснащен системой ориентации по отношению к Солнцу, а именно датчиками солнечного света, двенадцатью выравнивающими двигателями и программой для управления этими двигателями. Его экран должен быть всегда направлен к Солнцу во избежание перегрева оборудования.

Тепловой щит поглощает практически все тепло, излучаемое Солнцем, обеспечивая за собой температуру, не превышающую 30 0С. За тепловым щитом аппарата расположены научные приборы и солнечные панели. Parker Solar Probe оснащен четырьмя комплектами приборов, предназначенных для изучения магнитных полей, плазмы и энергетических частиц, а также для получения изображений солнечного ветра. К научным приборам относятся фаллон, электромагнитный прибор, состоящий из пяти антенн. Его цель – создать 3D-модель солнечной активности. На выдвижной штанге расположен магнитометр. После выполнения длительного маневра гравитационного торможения у Венеры, включающего семь пролетов рядом с планетой, зонд вышел на эллиптическую орбиту вокруг Солнца с

перицентром в 6 млн км. В связи с перепадом высоты над Солнцем солнечные панели имеют несколько положений для принятия света. При максимальном приближении к Солнцу солнечные панели складываются вдоль корпуса и ловят свет выгнутыми краями. В зонде применена система жидкого охлаждения, основанная на деионизированной воде. После приема рабочего положения эта жидкость из баков перетекает в основные радиаторные панели. В связи с периодами близости к Солнцу вся информация от приборов передается на внутренний компьютер и отправляется на Землю при достаточном отдалении от Солнца. По мере приближения к солнечной поверхности зонд делает открытия, которые невозможно было сделать с помощью других космических аппаратов [4].

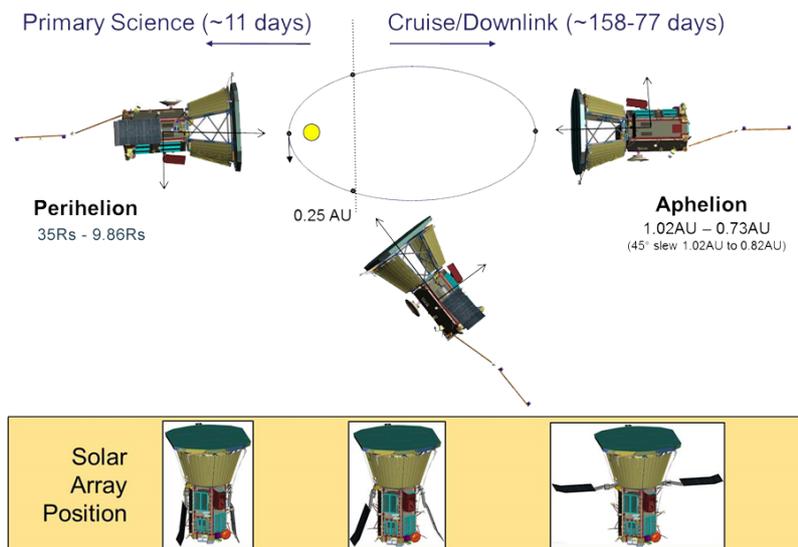


Рис. 4. Зонд «Паркер» и его расположение относительно Солнца

Библиографический список

1. Силантьев С., Фоминов И., Королев С. Роботы на орбите // Воздушно-космическая сфера. 2016. № 2. С. 1–2.
2. Как был устроен советский луноход. URL: <https://zen.yandex.ru/media/bigmuseum/kak-byl-ustroen-sovetskii-lunohod-5d55260da98a2a00ad259343> (дата обращения: 26.03.2022).
3. Михаелян Л. Т. Космическая робототехника. URL: <https://school-science.ru/3/4/32015> (дата обращения: 26.03.2022).
4. NASA. Parker solar probe. URL: <https://www.nasa.gov/content/goddard/parker-solar-probe> (дата обращения: 26.03.2022).

УДК 620.9

М. И. Ферштадт

студент кафедры электромеханики и робототехники

М. В. Сержантова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК И КПД ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Электроприводы быстро стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, и мы с трудом представляем себе нашу цивилизацию без них. Электроприводы играют жизненно важную роль в промышленности, транспорте, а также в современных домашних хозяйствах. Если бы мы подсчитали количество электроприводов вокруг каждого из нас сегодня, мы, конечно, были бы удивлены, насколько велико это число.

С момента изобретения первой электрической машины появлялись новые принципы и конструкции, а свойства и параметры электрических машин неуклонно улучшались. Появление силовой электроники и современных схем управления в конце XX века вызвало революцию в области электроприводов. В настоящее время, когда доступны современные технологии и широко используются передовые материалы и методы, в области современных электроприводов могут быть достигнуты ранее немыслимые результаты.

Как видно из рис. 1, производство электроэнергии в основном производится из полезных ископаемых (угля, нефти и газа), и сегодняшняя ситуация такая же, как и сорок лет назад. На последнем XXI всемирном энергетическом конгрессе подчеркивалось, что производство электроэнергии по-прежнему будет зависеть от ископаемых источников. В то же время, по данным [1], на промышленность приходится более 30 % мирового производства 20 000 ТВт·ч (тераватт-часов, или так называемых миллиардов киловатт-часов) электроэнергии потребление, составляющее более 4000 тонн CO₂ в год. В промышленном секторе на системы с электроприводом двигателя приходится примерно от 60 до 65 % электроэнергии, потребляемой Северной Промышленностью Америки [2] и Европейского Союза. Внедрение высокоэффективных систем с приводом от двигателя или улучшение существующих систем всего на 1–2 % может сэкономить до 100–200 ТВт·ч электроэнергии в год. Это значительно снизило бы потребность в новых электростанциях и позволило бы сократить выделение парниковых газов более чем на 100 млн CO₂ в год и снизить общие экологические затраты на производство электроэнергии.



Рис. 1. Выработка электроэнергии за счет топлива

Эффективность и потери электродвигателя

Влияние двигателя с точки зрения энергии и экономических затрат зависит от его производительности в течение срока службы. Характеристики двигателя характеризуются эффективностью, с которой он преобразует электрическую энергию в механическую.

В стандарте IEEE 112 [3] потери разделены, а эффективность, $\Delta R_{эфф}$, оценивается по следующей формуле:

$$\Delta R_{эфф} = P_{вх} - P_{вых} - (\Delta P_{ст} + \Delta P_{р} + \Delta P_{эм} + \Delta P_{мех}),$$

где входная электрическая мощность, $P_{вх}$, измеряется с помощью анализатора мощности, а выходная мощность, $P_{вых}$, с помощью измерителя крутящего момента. $\Delta P_{ст}$ – потери на статоре; $\Delta P_{р}$ – потери на роторе; $\Delta P_{эм}$ – электромагнитные потери; $\Delta P_{мех}$ – механические потери. Общая точность оценки эффективности в основном зависит от оценки крутящего момента, благодаря улучшенной точности новейших анализаторов мощности и измерителей крутящего момента этот метод можно считать точным и надежным.

КПД двигателя определяется как отношение механической выходной мощности двигателя к электрической входной мощности. Следовательно, для того чтобы двигатель работал лучше, важно уменьшить его потери.

Основными потерями двигателя являются потери на сопротивление в обмотках статора и ротора, а также магнитные потери (потери на гистерезис и вихревые токи) в сердечниках. Другие потери – это механические (трение подшипников и вентиляцию) и потери при случайной нагрузке.

Относительное распределение потерь двигателя с высокой эффективностью не так сильно отличается при низкой эффективности; оно в большей степени зависит от мощности. Их общее распределение показано на рис. 2.



Рис. 2. Распределение потерь асинхронного двигателя

Существует много способов повысить эффективность электродвигателя; большинство из них делают двигатель больше по диаметру или габаритным размерам и, конечно же, дороже.

Потери статора обмотки ($\Delta P_{ст}$) и ротора ($\Delta P_{р}$) обусловлены токами, протекающими через обмотки статора и стержни ротора. Эти потери могут быть уменьшены за счет уменьшения плотности тока в проводниках в обмотках статора, в стержнях ротора и в концевых кольцах.

Использование проводников большего размера снижает сопротивление статора, в то время как использование меди вместо алюминия снижает потери в роторе. Другим способом уменьшения потерь в статоре является уменьшение количества витков. К сожалению, это увеличивает пусковой ток и максимальный крутящий момент, так как ухудшает коэффициент мощности.

Электромагнитные потери $\Delta P_{эм}$, возникающие в слоях статора и ротора, вызваны явлениями гистерезиса и вихревых токов. Эти потери могут быть уменьшены за счет использования магнитной стали лучшего качества, более тонких слоев и снижения плотности потока (т. е. магнитопроводов большего размера). Лучшие сорта слоистой стали по-прежнему относительно дороги. Ожидается, что в ближайшем будущем появятся более дешевые методы производства.

Механические потери, $\Delta P_{мех}$, обусловлены трением подшипника и сопротивлением воздуха вентилятора охлаждения.

Повышение эффективности вентилятора, расхода воздуха и использование подшипников с низким коэффициентом трения приводят к более эффективной работе асинхронного двигателя. Поскольку эти потери относительно невелики, прирост эффективности тоже невелик, но любое улучшение приветствуется.

Потери при случайной нагрузке, $\Delta P_{сл}$, обусловлены потоками утечки, вызванными током нагрузки, неравномерным распределением тока, несовершенством механического воздушного зазора. Эти потери могут быть уменьшены за счет оптимизации конструкции и совершенствования методов производства.

Можно сделать вывод, что одним из наиболее устоявшихся методов повышения эффективности двигателя является использование материалов более высокого качества, что увеличивает конечную стоимость двигателя.

Данная проблема увеличения стоимости сохраняется и для более совершенных методов изготовления, таких как меньшие воздушные зазоры, медь, а не алюминий в конструкции ротора, более высокое заполнение щелей проводника и конструкция статора с сегментированным сердечником. Как результат – увеличение стоимости двигателя в диапазоне от 15 до 30 %.

Технические барьеры включают несогласованные стандарты тестирования и классификацию эффективности. Ключевым обязательным инструментом являются стандарты энергоэффективности.

Стандарты энергоэффективности в Северной Америке

В октябре 1992 года Конгресс США принял «Закон об энергетической политике EРАct», который устанавливает строгие стандарты энергоэффективности для электроприборов и оборудования, включая электродвигатели. Минимальные стандарты энергетической эффективности (MEPS) [4] впервые были представлены в 1992 году, когда Конгресс США убедился в том, что добровольные меры действуют слишком медленно и никакая значительная трансформация рынка в сторону более эффективных двигателей была бы невозможна.

Закон об энергетической политике требует, чтобы электродвигатели соответствовали более высоким требованиям номинальной эффективности, определенным в таблице стандартов Национальной ассоциации производителей NEMA [5], внедрение MEPS для двигателей вступило в силу в 1997 году.

Канадская ассоциация стандартов разработала стандарт CAN/CSA C-390 [6] в 1993 году и обновила его в 1998 году, а затем в 2015 году. Стандарт CAN/CSA C-390 устанавливает требования к минимальной эффективности для новых двигателей, изготовленных или продающихся в Канаде по той же стоимости, что и ассоциация производителей NEMA.

Библиографический список

1. IEA – International Energy Agency (МЭА – Международное энергетическое агентство). URL: <https://www.iea.org/> (дата обращения: 27.02.2022).
2. DOE – Department of Energy (МЭ – Министерство энергетики). URL: <https://www.energy.gov/> (дата обращения: 01.03.2022).
3. IEEE SU Standards Association (Ассоциация стандартов и испытаний асинхронных двигателей и генераторов). URL: <https://standards.ieee.org/ieee/112/276/> (дата обращения: 01.03.2022).
4. MEPS – Minimum Energy Performance Standard (Минимальный стандарт энергетической эффективности). МЭА – Международное энергетическое агентство. URL: <https://www.iea.org/policies/333-minimum-energy-performance-standards-meps> (дата обращения: 03.03.2022).

5. NEMA Advances Electroindustry Growth (Национальная ассоциация производителей электрооборудования). URL: <https://www.nema.org/> (дата обращения: 03.03.2022).
6. C390-10 (R2015) – Test methods, marking requirements, and energy efficiency levels for three-phase induction motors (Методы испытаний, требования к маркировке и к уровню энергоэффективности трехфазных асинхронных двигателей).

УДК 004.552

А. В. Филиппов

студент кафедры управления в технических системах

И. С. Кипяткова – кандидат технических наук, старший научный сотрудник СПб ФИЦ РАН – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ ТРАНСФОРМЕР ДЛЯ ЗАДАЧИ ИНТЕГРАЛЬНОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Введение

До определенного момента времени рекуррентные искусственные нейронные сети (РИНС) были типичной архитектурой для задачи преобразования последовательности в последовательность (Sequence to Sequence подход; сокр. seq2seq), к которой можно отнести и интегральное (англ. end-to-end) [1] распознавание речи. РИНС обрабатывает язык последовательно слева направо или справа налево. Но у РИНС есть значительный недостаток: их внутренний последовательный характер приводит к низкой скорости обучения и невозможности раскрыть потенциал современных вычислительных процессоров, таких как тензорные и графические, которые преуспевают в параллельных вычислениях. Сверточные нейронные сети (СНС) намного менее последовательны, чем РИНС, но в архитектурах СНС количество шагов, необходимых для объединения информации из удаленных частей входных данных, растет с увеличением расстояния между ними (как и у РИНС).

В целях увеличения скорости обучения и эффективности использования вычислительных мощностей в 2017 году в статье «Attention Is All You Need» [2] была представлена архитектура трансформера. Как и архитектуры, построенные на РИНС, трансформер предназначен для преобразования последовательностей в последовательности. Но для трансформера был придуман принципиально новый подход, позволяющий отказаться от использования РИНС – механизм внимания. В первом разделе этой статьи рассматривается принцип работы и внутренние модули архитектуры трансформера, во втором разделе рассматриваются модификации трансформера для его применения в задачах распознавания речи.

Архитектура трансформер

Модели трансформера состоят из кодера и декодера (рис. 1). Кодер принимает входную последовательность и отображает ее в многомерное представление (n -мерный вектор). Этот абстрактный вектор подается в декодер, который преобразует его в выходную последовательность. Выходная последовательность может быть на другом языке, символами, копией входных данных и т. д.

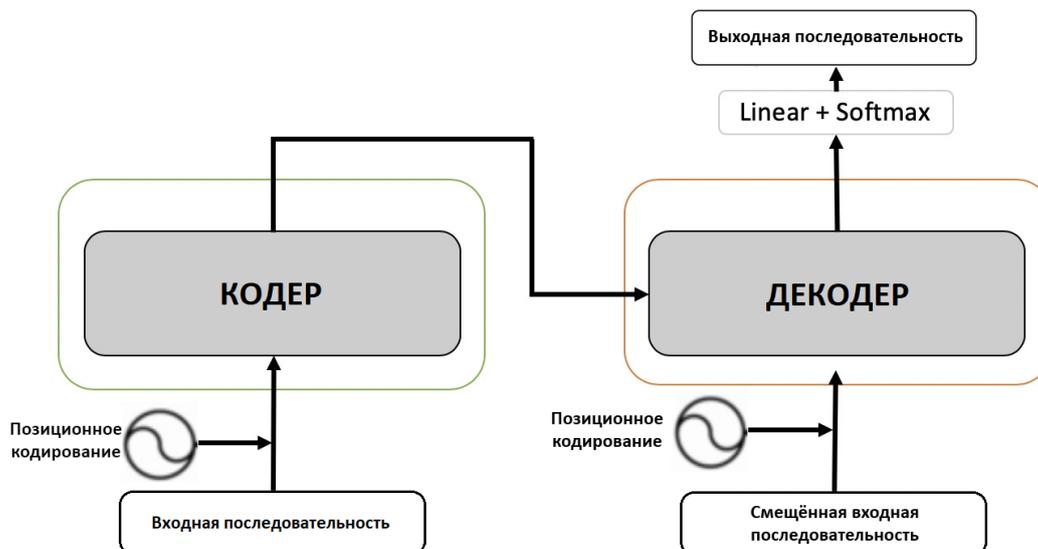


Рис. 1. Кодер и декодер архитектуры трансформер

Важная часть модели трансформер – механизм внимания. Этот механизм анализирует входную последовательность и на каждом шаге решает, какие другие части последовательности важны для рассматриваемого участка последовательности, и позволяет использовать параллельные вычисления.

Для каждого входа, который считывает кодер, механизм внимания одновременно учитывает несколько других входов и решает, какие из них важны, присваивая этим входам разные веса. Затем декодер примет в качестве входных данных закодированное предложение и веса, предоставляемые механизмом внимания.

В дополнение к подслоям внимания каждый слой кодера и декодера содержит полносвязную сеть прямого распространения, которая применяется к каждой позиции последовательности раздельно. Она состоит из двух линейных преобразований с функцией активации ReLU между ними.

Так как в модели отсутствуют сверточные и рекурсивные слои, нужно ввести дополнительную информацию об абсолютной или относительной позиции каждого элемента, которая бы позволила учитывать порядок элементов в последовательности. Для этого в трансформере предусмотрен метод «Позиционного кодирования» входных эмбеддингов (англ. embedding) [5] на входах в стеки кодеров и декодеров. Вектор позиционного кодирования имеет ту же размерность d_{model} , что и эмбеддинги, поэтому их можно складывать.

Модуль кодера состоит, как правило, из стека шести идентичных слоев, каждый слой – из двух подслоев. Первый – это механизм «многоголового» (англ. multi-head attention) самовнимания и второй – это полносвязная сеть прямого распространения. В слоях используются остаточные соединения [3] подслоев, за которыми следуют слои нормализации [4]. Для облегчения остаточных соединений все подслои и слои эмбеддинга производят выходные векторы размерностью $d_{model}=512$.

Модуль декодера в свою очередь тоже состоит из стека идентичных слоев. В дополнение к двум подслоям из кодера в декодере реализован третий подслой, который обеспечивает многоголовое внимание для выхода со стека кодеров. Так же, как и в кодере, для каждого из подуровней декодера реализованы остаточные соединения, за которыми следует подслой нормализации. В стеке декодеров используется модифицированный механизм самовнимания, который предотвращает влияние последующих элементов последовательности на текущий. Такая модификация вместе с тем фактом, что выходные эмбеддинги смещаются на одну позицию, обеспечивает зависимость i -й позиции последовательности только от известных предыдущих позиций последовательности.

Применение архитектуры трансформер для задачи интегрального распознавания речи

Первая версия трансформера, представленная в Attention Is All You Need, показала хорошие результаты в задаче перевода с английского языка на французский и в скорости обучения. Для этого модель обучали 3,5 дня на 8 графических процессорах, что являлось лишь малой частью от времени обучения, требуемого архитектурами на основе рекуррентных сетей того времени. Тем не менее исходная версия трансформера плохо приспособлена для распознавания речи. В этом разделе приведены модификации, позволяющие использовать трансформер для распознавания речи.

В [8] была предложена реализация трансформера для распознавания речи. Речевой трансформер направлен на преобразование последовательности речевых признаков в соответствующую последовательность символов. Последовательность признаков обычно в несколько раз длиннее последовательности символов и может быть изображена в виде 2-мерных спектрограмм с осями времени и частоты. Поэтому в этой архитектуре используются сверточные сети для выделения признаков из входных спектрограмм перед их подачей на вход кодеров. Важной частью речевого трансформера является двумерное внимание, которое учитывает как временную, так и частотную ось спектрограммы, что может быть полезным для моделирования временной и спектральной динамики в спектрограмме. Предложенная архитектура позволила достигнуть показателя WER (процент неверно распознанных слов) в 10,92 % и времени обучения в 1,2 дня на процессоре NVIDIA K80, что является сопоставимой производительностью обучения по сравнению с большинством обычных моделей seq2seq при значительном снижении требуемого объема вычислений.

В [9] был предложен более «глубокий» вариант речевого трансформера. Анализ авторов работы показал, что архитектура глубокого речевого трансформера обладает высокой способностью к

обучению, способна превосходить предыдущие end-to-end подходы и даже соответствовать гибридным системам. В рамках приведенной архитектуры используются очень глубокие модели с использованием до 48 блоков кодеров и декодеров в сочетании со стохастическими остаточными связями, что значительно повышает эффективность обучения и способности моделей к обобщению. Полученные в результате модели превосходят все предыдущие интегральные подходы к автоматическому распознаванию речи по точности распознавания. Глубокие речевые трансформеры обеспечивают 9,9 и 17,7 % WER в тестах, проведенных на речевых корпусах «Switchboard» и «CallHome» соответственно, что делает архитектуру трансформер конкурентноспособной в сравнении с гибридными системами, которые сложнее как во внутренней структуре, так и в процессе обучения.

Авторы [10] предлагают нейронную архитектуру трансформер-XL, которая позволяет изучать зависимость сверх фиксированной длины без нарушения временной когерентности. Трансформер-XL состоит из механизма повторения на уровне сегмента и новой схемы позиционного кодирования. Данный метод не только позволяет зафиксировать долгосрочную зависимость, но и решает проблему фрагментации контекста. В результате трансформер-XL изучает зависимости, которые на 450 % длиннее, чем у стандартного трансформера, обеспечивает лучшую производительность как на коротких, так и на длинных последовательностях.

В [11] было предложено интегрировать в трансформер механизм коннцекционно-временной классификации, что позволило увеличить скорость обучения и облегчить интеграцию в архитектуру языковой модели. Это решение позволило снизить показатель WER с 11,1 до 4,5 % в тесте на речевом корпусе Wall Street Journal.

Для большинства реализаций архитектуры трансформер декодер выстраивает выходную последовательность, используя представление кодера, построенное на всей входной последовательности целиком. Такой подход мало применим при потоковом распознавании речи. В [12] была предложена архитектура «синхронный трансформер», которая позволила обрабатывать входную последовательность порциями фиксированной длины. Эксперименты показали, что показатель WER синхронного трансформера на тестовом наборе данных равен 8,91 %.

В [13] предлагается архитектура «низкорангового трансформера», которая позволяет значительно снизить количество настраиваемых параметров в модели, время обучения и потребляемую память. Такой подход дает возможность снизить количество настраиваемых параметров на 50 % и более. Для снижения количества параметров в модели сети прямого распространения заменяются на факторизованные линейные модули, называемые линейными кодерами-декодерами.

Заключение

В данной статье произведен обзор современной архитектуры нейронных сетей трансформер, которая используется для задач преобразования последовательностей и распознавания речи. Эта архитектура позволяет полностью отказаться от рекурсивных слоев благодаря использованию механизма внимания. Такое архитектурное решение позволяет значительно ускорить обучение модели по сравнению с нейронными сетями, использующими сверточные и рекуррентные слои за счет использования преимуществ параллельных вычислений. Рассмотренные работы показывают, что трансформеры могут успешно использоваться в распознавании речи, однако в ходе проведенного обзора не было обнаружено научных работ, посвященных исследованию применения архитектуры трансформер для распознавания русской речи, поэтому дальнейшие исследования будут посвящены по разработке интегральной системы распознавания русской речи на базе архитектуры трансформер.

Библиографический список

1. Марковников Н. М., Купяткова И. С. Аналитический обзор интегральных систем распознавания речи // Труды СПИИРАН. 2018. Вып. 58. С. 77–110.
2. Vaswani A. Attention is all you need // Advances in neural information processing systems. 2017. P. 5998–6008.
3. Kaiming H., Xiangyu Z., Shaoqing R. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2016. P. 770–778.
4. Lei J., J Kiros J., Hinton G. Layer normalization. 2016. arXiv: 1607.06450.

5. Bahdanau D., Cho K., Bengio Y. Neural machine translation by jointly learning to align and translate. 2014. CoRR, abs/1409.0473.
6. Lin Z., Feng M. A structured self-attentive sentence embedding. 2017. arXiv: 1703.03130.
7. Gehring J., Auli M., Grangier D. Convolutional sequence to sequence learning. 2017. arXiv: 1705.03122v2.
8. Dong L., Xu S. Speech-transformer: a no-recurrence sequence-to-sequence model for speech recognition // 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2018. P. 5884–5888.
9. Very deep selfattention networks for end-to-end speech recognition. 2019. arXiv: 1904.13377.
10. A Transformer-XL: Attentive Language Models Beyond a Fixed-Length Context Zihang Dai^{1,2}, Zhilin Yang^{1,2}, Yiming Yang¹, Jaime Carbonell¹, Quoc V. Le², Ruslan Salakhutdinov¹.
11. Karita S., Sproll N., Watanabe S. Improving Transformer-Based End-to-End Speech Recognition with Connectionist Temporal Classification and Language Model Integration // Proc. Interspeech, 2019. P. 1408–1412.
12. Tian Z., Yi J., Bai Y. Synchronous transformers for end-to-end speech recognition // ICASSP 2020 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). IEEE, 2020. P. 5666–5670.
13. Winata G., Cahyawijaya S. Lightweight and efficient end-to-end speech recognition using low-rank transformer 2019. arXiv: 1910.13923.

УДК 621.3

А. В. Ходин

магистрант кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

На сегодняшний день идет сильнейшее развитие инновационных технологий и внедрение их в виде новых устройств. В современных условиях истощаемости природных энергоресурсов актуальными являются исследования, направленные на достижение рационального потребления энергии.

Развитие новых технологий обусловило изменение ориентации энергетики на максимальное удовлетворение потребностей человека. Желание потребителя энергии обладать наилучшими условиями в процессе жизнедеятельности привело к насыщению объектов энергетики электротехническими, электронными девайсами и программами, способных обеспечить качество и бесперебойность электроснабжения.

Локальным называется объект, который имеет электронные устройства, контролирующие процесс управления им. Последние годы все более популярной становится локальная генерация на основе возобновляемых источников энергии. Важным фактором в развитии электроснабжения локальных объектов является разработка системы, которая обеспечивает контроль потребления электрической энергии. Одной из таких систем и является автоматизированная система контроля учета электроэнергии (АСКУЭ) [1].

АСКУЭ – это инновационная информативная разработка, функциями которой являются:

- удаленное считывание показаний с локальных приборов учета электрической энергии;
- прием и передача переданных данных на более высокий уровень системы;
- анализ полученной информации для исследования и дальнейшего поступления в системы главного уровня.

АСКУЭ состоит из двух взаимосвязанных структур:

- 1) структура, отвечающая за автоматизацию обмена информации между потребителями;
- 2) контроль электрической энергии, функциями которого являются прием, анализ, передача и хранение электрической энергии [2].

Главная задача АСКУЭ – автоматический учет потребления электрической энергии и достижение качественного контроля взаиморасчетов между поставщиками и потребителями. АСКУЭ представляет собой трехуровневую структуру, представленную на рис. 1.

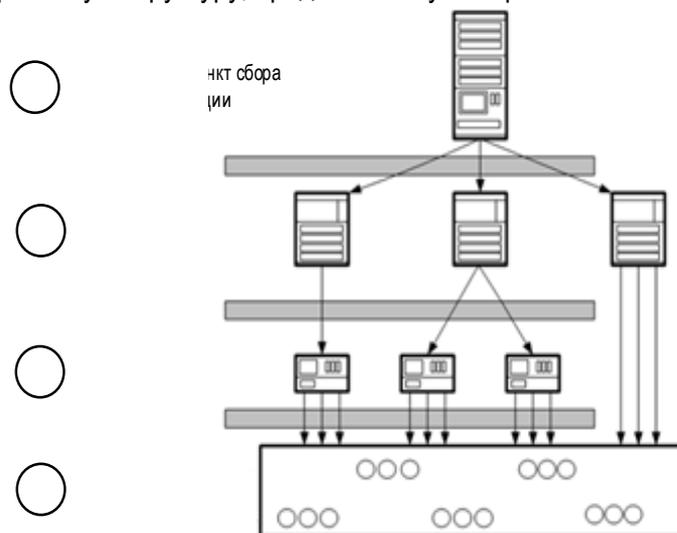


Рис. 1. Трехуровневая функциональная схема работы автоматизированной системы учета электроэнергии

Первый уровень – зона первичных измерительных приборов – состоит из приборов учета электрической энергии с цифровыми выходами. С помощью них происходит точное измерение характеристик потребления электроэнергии и передача данных на второй уровень.

Второй уровень отвечает за первичный сбор информации. В режиме реального времени происходит контроль приборов учета.

Центр сбора и обработки информации находится на верхнем уровне. На него поступает информация со всей системы учета. Работа осуществляется с помощью эффективного программного обеспечения, которое отвечает за анализ данных [3].

В трехуровневую структуру работы АСКУЭ можно включить еще один уровень – центральный пункт сбора данных. Данный центр собирает информацию со всей России и проводит анализ, с помощью которого можно спрогнозировать характер полученных данных позволяет прогнозировать расход потребления электроэнергии. Также эта информация помогает добавлять оперативные корректировки в энергетическую стратегию, принятую в Российской Федерации на период до 2030 года.

Система передачи данных АСКУЭ обеспечивается по проводным и беспроводным каналам протоколами пересылки информации. Функциональная система АСКУЭ состоит из следующих этапов:

- 1) на устройство хранения информации поступает сигнал с электросчетчиков;
- 2) с приборов учета данные обрабатываются и передаются на следующий уровень, то есть на сервера хранения информации;
- 3) в работу вступает программное обеспечение. Полученная информация обрабатывается для дальнейших исследований и принятия оперативных решений.

Начальным звеном АСКУЭ является умный счетчик электрической энергии. Внешний вид умного устройства коммерческого учета представлен на рис. 2.



Рис. 2. Интеллектуальный электросчетчик АСКУЭ «СТРИЖ»

Счетчик преобразует проходящий ток в измерительные импульсы, которые позволяют вести грамотный контроль электроэнергии. Также счетчики проводят измерение различных параметров сети: ток, напряжение, частота, сдвиг фаз. Главное отличие от индукционных, электронных или гибридных приборов учета состоит в том, что в данных счетчиках есть импульсный выход и встроенный модем. Интеллектуальные электросчетчики могут вести работу в удаленном режиме, то есть собирать данные о состоянии работы в режиме реального времени. Передаваемый сигнал может искажаться из-за воздействия помех и тепловых шумов. При передаче по линиям связи образуется погрешность.

Электросчетчики бывают разных типов. Одни обеспечивают накопление и хранение информации об электропотреблении. Другие обеспечивают работу в многотарифном режиме. Некоторые ведут контроль реактивной энергии, а также могут дистанционно выключать потребителя из сети.

Система умных счетчиков помогает снижать потери электроэнергии при передаче к потребляемым источникам и автоматически получать информацию с любой точки потребления. Главная результативность АСКУЭ заключается в усложнении несанкционированного электропотребления. Система в кратчайшие сроки сообщает о постороннем вмешательстве в работу счетчиков.

Исследования в данной области являются прямым следствием «Стратегии развития электросетевого комплекса Российской Федерации на период до 2035 года», принятой в 2013 году. Одним из направлений этой стратегии является переход к цифровой экономике. Вместе с тем повышается и эффективность традиционной энергосистемы. Также открываются новые возможности для вовлечения в процесс устройств и комплексов с регулируемым потреблением, спроектированных с использованием новейших инновационных технологий.

Таким образом, АСКУЭ помогает поддерживать точный контроль электроэнергии между поставщиками и потребителями. Система достаточно эффективно работает на энергосбережение. Вследствие этого, система окупается в среднем за год [4].

Любая автоматизированная система имеет недостатки, АСКУЭ не исключение. Среди них можно выделить следующие:

- дорогое обслуживание и монтаж;
- угроза обрыва сети и возможной потери информации;
- дополнительные затраты на инсталлирование sim-карт в каждый электросчетчик при использовании GSM-протоколов;
- внутри железобетонных помещений сигнал ловит нестабильно.

Решение этих проблем позволяет в значительной мере повысить уровень энергоэффективности систем электроснабжения локальных объектов, а также электросетевого комплекса России в целом.

Подводя итог, можно отметить, что повышение уровня эффективности электропотребления локальных объектов является одной из главных задач, стоящих перед энергетикой нашей страны, решение которой заключается во внедрении инновационных технологий на базе автоматизированных систем.

Библиографический список

1. Петергеря Ю. С., Жуйков В. Я., Терещенко Т. А. Интеллектуальные системы обеспечения энергосбережения жилых домов: учебное пособие. К.: Аверс, 2008. С. 1–22.
2. Состав автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии. URL: <https://research-journal.org/technical/sostav-avtomatizirovannoj-sistemy-kommercheskogo-ucheta-elektroenergii/> (дата обращения: 26.01.2022).
3. Рынок приборов учета электроэнергии: технологии и прогнозы. URL: <https://marketelectro.ru/content/rynok-priborov-ucheta-elektroenergii-tehnologii-i-prognozy> (дата обращения: 26.01.2022).
4. Попова М. В. Яшкова Т. Н. Методы повышения энергоэффективности зданий. Владимир, 2014. 111 с.

УДК 378.147

Д. Р. Шарапов

учащийся ГБОУ № 449

Д. В. Дегтерев, Н. В. Макарюк, Т. С. Ромашова, З. Х. Сиярова, И. Д. Спиридонова – студенты кафедры программно-целевого управления в приборостроении – научные руководители

ИНСТРУМЕНТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МЕХАНИЗМОВ ОБЩЕПИТА НА ПРИМЕРЕ ШКОЛЬНОЙ СТОЛОВОЙ

Школьное питание – это залог здоровья подрастающего поколения. Горячее питание детей во время пребывания в школе является одним из важных условий поддержания их здоровья и способности к эффективному обучению. Хорошая организация школьного питания ведет к улучшению показателей уровня здоровья населения, в первую очередь детей, учитывая, что в школе они проводят большую часть своего времени. Поэтому питание является одним из важных факторов, определяющих здоровье подрастающего поколения. Полноценное и сбалансированное питание способствует профилактике заболеваний, повышению работоспособности и успеваемости, физическому и умственному развитию детей и подростков, создает условия к их адаптации к современной жизни [1].

Недостаточное поступление питательных веществ в детском возрасте отрицательно сказывается на показателях физического развития, заболеваемости, успеваемости, способствует проявлению обменных нарушений и хронической патологии. В Законе Российской Федерации «Об образовании» сохранена обязанность образовательного учреждения организовывать питание обучающихся, выделять помещение для питания детей, предусматривать перерыв достаточной продолжительности. Школа представляет собой жизненно важную среду, используя которую можно оказывать влияние на процесс правильного питания и формировать у школьников верные навыки и стереотипы в данном вопросе. В школе существуют эффективные возможности для проведения работы по охране здоровья и здоровому питанию. Именно школьный возраст является тем периодом, когда происходит основное развитие ребенка и формируется образ жизни, включая тип питания. Организованное школьное питание регламентируется санитарными правилами и нормами, поэтому в значительной степени удовлетворяет принципам рационального питания. Многие учащиеся имеют слабое представление о правильном питании как составляющей части здорового образа жизни [2].

Таким образом, проблема школьного питания стоит достаточно остро, многие ученики в полной мере используют онлайн-системы расчета банков. Зачастую, многим родителям проще перевести деньги ребенку с помощью возможностей онлайн-банка, что упрощает оплату обеда. Возможность безналичного расчета способствует отказу от наличных средств. Это в свою очередь допускает вероятность потери денег, что ведет к оставлению ребенка без обеда, а данный фактор напрямую влияет на его режим питания и успеваемость на уроках. Во многих школах расписание питания составлено некорректно, эта проблема возникает ежедневно. Многие столовые используют устаревшие методы обслуживания потребителей, низкое качество еды, подаваемой в заведении, ведет к отрицательным отзывам о блюдах, снижению спроса на еду, меньшее количество посетителей, а в худшем случае к развитию заболеваний в учебном заведении. Для выявления более ясной картины на происходящее в школьных столовых проведем опрос, который выявит реальную ситуацию и потребности у школьников [3].

Объектом исследования является школьная столовая и принципы ее функционирования.

Предмет исследования – механизм взаимодействия учеников школы и столовой.

Для оценки качества взаимодействия школьной столовой и учащихся необходимо провести анализ данных, полученных в результате опроса.

Результаты исследования

В результате анкетного опроса выявлено, что из 246 опрошенных 215 человек (87,5 %) пользуются школьной столовой, 31 человек (12,5 %) не пользуется услугами школьной столовой, что дает понять о востребованности заведения со стороны учеников. Структура ответа на вопрос представлена на рис. 1.

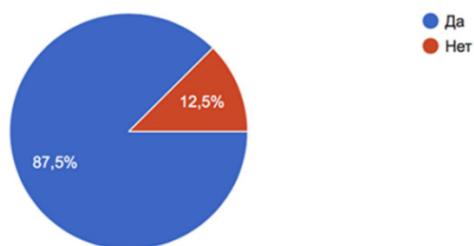


Рис. 1. Процентное соотношение учащихся

В школьной столовой 66,8 % учеников посещают столовую 1 раз в день, 18,8 % – 2 раза в день, 12,5 % – 1 раз в два дня. Это можно выявить с помощью опроса под номером 2, а также спрогнозировать посещаемость столовой. Результаты опроса представлены на рис. 2.

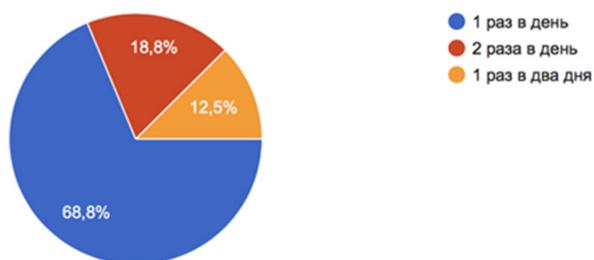


Рис. 2. Результат опроса частоты посещения столовой

50 % школьников предпочитают полноценный школьный обед, 25 % – только одно блюдо из комплексного обеда (первое или второе), 25 % предпочитают только продукцию буфета. Результаты опроса представлены на рис. 3.

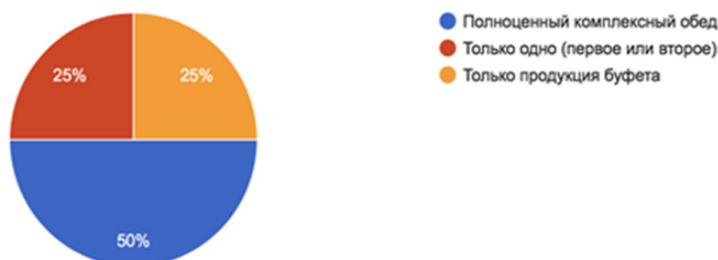


Рис. 3. Результат опроса вида предпочитаемое продукции

Оценка подаваемой в школьной столовой еды показала следующие результаты: 68 % считают, что в еде есть недостатки, 31 % пользователей считает еду хорошей и вкусной. Результат опроса представлен на рис. 4.

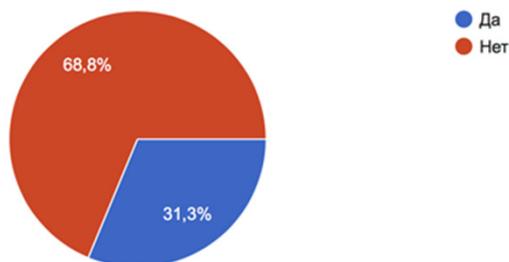


Рис. 4. Результат опроса удовлетворенности продукции

В анкете предложен вопрос, какая система учащимся более интересна и удобна. Более половины (53,3 %) опрошенных предпочли бы оплату онлайн, 26,7 % предпочли бы возможность оплаты

с помощью карточной системы и 20 % предпочитают классический метод оплаты обеда. Результат опроса представлен на рис. 5.

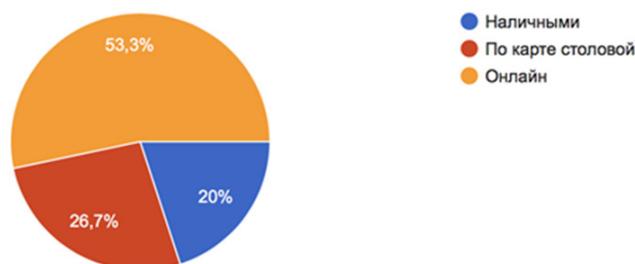


Рис. 5. Результат опроса формы предпочитаемой оплаты

Далее проголосовавшим за оплату онлайн был предложен вопрос, каким инструментом инновационных технологий они предпочли бы пользоваться. Получены такие ответы: 73,3 % предпочитают заказывать школьные обеды с помощью сайта, так как он доступен на большинстве устройств, 26,7 % предпочитают мобильное приложение, так как оно удобнее для узкого количества устройств. Результат опроса представлен на рис. 6.

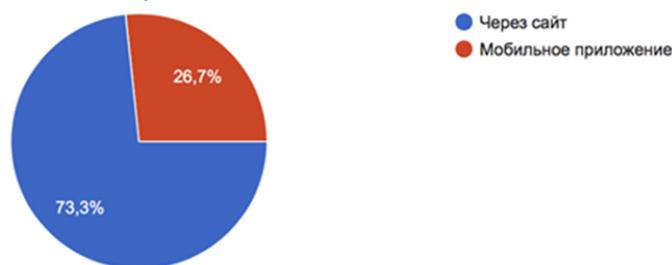


Рис. 6. Результат опроса вида предпочитаемой оплаты

На основе проведенных опросов можно сделать вывод, что подавляющее большинство учащихся активно пользуются услугами школьной столовой. Чтобы улучшить качество и скорость обслуживания учащихся, необходимо решить ряд следующих проблем:

1. скопление людей и увеличение очереди, в том числе из-за замедления расчетов (копание в кошельках, поиск сдачи);
2. ошибки и обсчеты при проведении расчетов;
3. невозможность точного количественного учета сырья, трудоемкость проведения и оформления инвентаризации;
4. огромные человеческие и временные трудозатраты на сбор статистической информации, трудоемкость получения отчетности.

На основе данных проблем и ознакомившись с уже внедренными инновационными технологиями в процесс функционирования школьной столовой можно прийти к выводу о необходимости создания платформы, с помощью которой ученик (пользователь) сможет сделать заказ заранее, знать меню и иметь возможность онлайн-оплаты [4].

Реализация проекта

Реализовать проект можно с помощью создания сайта школьной столовой с собственным доменным именем, при входе на который пользователь сможет наблюдать меню столовой, а именно комплексный школьный обед с подробным описанием состава входящего в него блюд, иметь возможность заказать отдельное блюдо из этого комплексного обеда, а также раздел буфет, где представлены товары, которые можно купить. Соответственно, каждое наименование из меню будет иметь рядом стоящий прейскурант цен [5].

После краткого составления макета и структуры платформы перейдем к прорабатыванию действий пользователя и составим список пошаговых действий:

1. ученик заходит на сайт, видит приветственный бэкграунд. На сайте представлено меню столовой;
2. пользователь выбирает товары, которые он закажет;
3. выбранные товары добавляются в корзину;
4. пользователь нажимает на корзину;
5. заполняет форму, состоящую из ФИО, класса ученика, электронной почты, даты заказа;
6. нажимает кнопку «Оплатить», и идет загрузка платежной системы;
7. ученик вносит данные карты или иного платежного средства;
8. оплачивает заказ, после чего переносится на сайт, где может войти в личный кабинет или зарегистрироваться, где будут отображаться сделанные покупки и присвоенные каждому заказу «Номер», «Дата», «Перечень товаров», «Сумма сделанной покупки»;
9. на следующий день пользователь приходит на обед в указанное составителем расписания время;
10. предъявляет электронное устройство, на котором имеется заказ;
11. сотрудник столовой убеждается в заказе и выдает ученику готовый обед.

Данная система будет оптимальной для многих школ, а внедрение просмотра меню заранее станет особенностью проекта.

После определения основных задач от проекта и определения оптимальных действий пользователя необходимо создать платформу проекта. Поскольку в качестве основы был выбран сайт, начать проект необходимо с его верстки, подключения системы рассылки пользователям на электронную почту о сделанном заказе, создание онлайн-кошелька на платформе «Юмани». После проверки на работоспособность и тестирования всех сервисов разработки нужно реализовать реальную симуляции с помощью взаимодействия будущих пользователей проекта [6].

Тестирование

Предложив свою идею и продемонстрировав работоспособность проекта директору, преподавателю и сотрудникам столовой, было дано разрешение на проведение тестирования на базе школьной столовой. После приглашения и взаимодействия участников тестирования мной были выявлены несущественные недочеты, которые были впоследствии устранены, но симуляция процесса обеда с помощью моего проекта прошла успешно [7].

Введение в эксплуатацию

Устранив недочеты и наладив работу платформы, необходимо согласовать внедрение проекта в бизнес-процесс школьной столовой на базе школы № 606 Пушкинского района. Система направлена на работу с учениками средней и старшей школы [8].

Выводы

Изучив имеющиеся разработки в сфере удобства обслуживания в школьной столовой (карточную систему, внедрение аппарата расчета в формате онлайн-оплаты), можно сделать вывод, что предложенная система бизнес-процесса школьной столовой по характеристикам, затратности обслуживания и удобства является универсальной по сравнению с другими проектами. Уменьшение расчета наличными средствами приведет к увеличению спроса на питание в столовой, сокращению очередей на прием пищи (в среднем время ожидания сократилось с 10 минут 49 секунд, до 5 минут 58 секунд). Исходя из этого, можно сделать вывод, что развитие инновационных технологий в школьном заведении стимулирует молодых пользователей к приему пищи в школьной столовой.

Библиографический список

1. Роль горячего питания в жизни обучающегося // [lycc1501.mskobr.ru URL: https://lycc1501.mskobr.ru/users_files/SaveljevAS/files/pitanie/rol_goryachego_pitaniya_v_zhizni_obuchay_uwegosya.pdf](https://lycc1501.mskobr.ru/users_files/SaveljevAS/files/pitanie/rol_goryachego_pitaniya_v_zhizni_obuchay_uwegosya.pdf) (дата обращения: 03.03.2022).
2. Классный час на тему: «Польза горячего питания» // [infourok.ru URL: https://infourok.ru/klassniy-chas-na-temupolza-goryachego-pitaniya-3574681.html](https://infourok.ru/klassniy-chas-na-temupolza-goryachego-pitaniya-3574681.html) (дата обращения: 03.03.2022).

3. Golden Software: сайт. URL: <http://gsbelarus.com/pw> (дата обращения: 26.03.2022).
4. Классный час на тему: «Польза горячего питания» // infourok.ru. URL: <https://infourok.ru/klassniy-chas-na-temupolza-goryachego-pitaniya-3574681.html> (дата обращения: 03.03.2022).
5. Роль горячих обедов в жизни школьника // pionerschool.uoirbitmo.ru. URL: https://pionerschool.uoirbitmo.ru/formirovanie-zdorovogo-obraza-jizni/rol-goryachih-obedov-v-jizni-shkolnika_20200903 (дата обращения: 03.03.2022).
6. Как должны питаться дети в школьной столовой // findmykids.org. URL: <https://findmykids.org/blog/ru/shkolnoe-pitanie> (дата обращения: 03.03.2022).
7. Горячее питание – основа залог здоровья школьников // kopilkaurokov.ru. URL: <https://kopilkaurokov.ru/klassnomuRukovoditeliu/prochee/doklad-goriachieie-pitaniie-osnova-zalogh-zdorov-ia-shkol-nikov> (дата обращения: 03.03.2022).
8. Рациональное питание в школе // activityedu.ru. URL: <https://activityedu.ru/Blogs/interesting/racionalnoe-pitanie-v-shkole-kakim-ono-dolzno-byt> (дата обращения: 03.03.2022).
9. *Иванова Г. В., Никулина Е. О., Кольман О. Я.* Пищевой статус школьников г. Красноярска // *Здоровье*. 2010. № 2. С. 23–28.
10. Питание и здоровье школьника // school-science.ru. URL: <https://school-science.ru/7/1/40672> (дата обращения: 03.03.2022).
11. Школьное питание – это залог здоровья подрастающего поколения // 26209s008.edusite.ru. URL: <https://26209s008.edusite.ru/p98aa1.html> (дата обращения: 03.03.2022).

СОДЕРЖАНИЕ

Абакумов Е. В. Разработка модели жизненного цикла силовых трансформаторов	3
Абрашев В. А. Потребители электрической энергии и энергосбережение	7
Алеворян А. И. Применимость ветро-солнечной энергетики в качестве источника питания автоматизированной газораспределительной станции	10
Антонов И. А. Коллекторные и бесколлекторные электродвигатели для беспилотных авиационных систем	14
Архипов А. А. Особенности применения цифровых трансформаторов тока на подстанциях	17
Бабошин А. П. Физическая установка для исследования тяговых характеристик винтовых движителей	21
Багрова А. В. Энергоэффективные технологии Smart Grid.....	24
Беспятый Г. Ю., Исаков К. С. Алгоритмы управления системой технического зрения промышленного робота	29
Бобрышов А. П. Особенности передачи электрической энергии постоянным током.....	33
Богданов И. В. Решение линейных рекуррентных соотношений третьего порядка с постоянными коэффициентами	37
Венскель В. В., Шалахин В. Р. Анализ факторов поддержания микроклимата в помещении	42
Воробьев А. В. Электропередача на дальние расстояния. Уменьшение потерь электроэнергии	46
Выграновская А. В., Приходский А. А. Оптимальное управление гибридной силовой установкой.....	49
Выграновская А. В. Датчики положения ротора вентильного двигателя.....	55
Гинзбург А. Д., Венедиктов Н. А., Музафаров Д. А. Обоснование и исследование двух структурных схем 5G-приемника	59
Голованова К. А., Огородников Д. М., Романов С. В. Актуальность применения асинхронных генераторов в ветроэлектрических установках	63
Головков Р. С. Технологии, применяемые в системах навигации автономного транспорта	65
Голосов Г. И. Программные средства, применяемые в кибербезопасности. Обзор практики применения	68
Городецкий И. В. Система автоматического управление работой газового котла	71
Дитяткин Р. А., Попов А. К. Следящие системы бортовых антенн РЛС.....	75
Долгобородова А. М. Анализ процессов подбора средств защиты информации на российских предприятиях	78
Дубинин А. И., Темников Р. А., Топилина А. В. Доверительный документооборот на технологии частного блокчейна	82
Евмененко С. А., Кушеков Д. В., Новикова Д. А. О модернизации электропривода с фазным ротором	84
Зюзин В. А. Определение и методы опреснения морской воды.....	89
Карабанов Г. С., Селюков А. Н. Демонстрация решения обратной задачи кинематики на примере 6-DOF робота	95
Клишковский П. А. Взаимодействие волны и точечного поглотителя	103
Клишковский П. А. Проблемы использования энергии волн. Критерии выбора преобразователей	106
Клишковский П. А. Стабильность точечного поглотителя на водной поверхности	108
Корнелюк А. Д. Обратная кинематическая задача промышленного робота	111
Косарев В. А. Применение робототехнических систем на сборочных операциях.....	117
Красников Н. С. Информационная система для распознавания весовых товаров на основе нейронной сети	121

Кузьменко Ю. П. Проблемы и перспективы установки светодиодного освещения в образовательных учреждениях.....	124
Кучинский Е. Д., Николаев Д. А. Сравнительная характеристика коэффициента полезного действия двигателей внутреннего сгорания и электродвигателей в автомобилях.....	127
Лукичев П. А. Анализ характеристик турбогенераторов традиционного исполнения и с использованием сверхпроводимости.....	131
Марков Е. А. Вопросы защиты персональных данных в сделках с недвижимостью на территории России.....	137
Мачикин В. В. Управление качеством изготовления опор качения электромеханических систем.....	140
Миронович М. А. Исследование системы автоматического управления температурой в жилом помещении в рамках системы «Умный дом».....	145
Палесика А. А. Применение нейронных сетей в распознавании объектов на изображении.....	150
Панков А. В. Алгоритм дейкстры.....	155
Попов А. К. Разработка учебного стенда на основе 4-битного контроллера Nibbler.....	160
Прохоров Д. В. Зеленая энергетика: вред или польза для экологии.....	164
Рамазанов Р. В. Конструирование печатающей системы принтера для печати несмываемой маркировки на металле.....	170
Рулев А. М. Синтез адаптивной САУ с помощью метода функций Ляпунова.....	175
Савкина К. А. Асинхронный двигатель привода электромобиля.....	180
Свиридова А. А. Алгоритм стабилизации положения 3DOF робота на основе решения обратной задачи кинематики.....	183
Семенов К. А. Обзор методов распознавания технического состояния объектов.....	188
Семенов К. А. Определение алгоритма работы системы управления солнечными батареями.....	195
Скробат И. С. Методы машинного обучения для повышения разрешения мультиспектральных спутниковых данных оценки углеродного следа.....	197
Софронов А. А. Перспективы и проблемы развития интеллектуальных сетей Smart Grid.....	201
Спиридонова И. Д. Аспекты влияния рисков на развитие цифровой трансформации в электроэнергетике.....	203
Стародуб А. Р. Обзор методов прогнозирования кибератак на основании анализа данных об угрозах информационной безопасности.....	205
Третьякова Ю. О. Проблемы использования сверточных нейронных сетей.....	208
Трофимов А. Е. Реконструкция электроснабжения и освещения корпуса № 1 «Академия транспортных технологий».....	212
Тюрина А. А. Анализ методик диагностики технического состояния систем электроснабжения.....	217
Тюрина А. А. Методы диагностики технического состояния систем электроснабжения.....	220
Фадеев Я. М. Робототехнические системы в космосе.....	223
Ферштадт М. И. Основные способы повышения характеристик и КПД электродвигателя.....	228
Филиппов А. В. Применение нейросетевой архитектуры трансформер для задачи интегрального распознавания речи.....	232
Ходин А. В. Применение автоматизированной системы контроля учета электроэнергии для повышения энергоэффективности локальных объектов.....	236
Шарапов Д. Р. Инструменты автоматизации функционирования механизмов общепита на примере школьной столовой.....	239

Научное издание

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'22
XVII Международная конференция
по электромеханике и робототехнике
12–14 апреля 2022 г.

Молодежная секция

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-1729-6



9 785808 817296

Ответственные за выпуск:
доктор технических наук, профессор *В. Ф. Шишлаков*; *А. В. Статкевич*
Редактор *Е. В. Торопова*
Компьютерная верстка *С. Б. Мацапуры*

Подписано к печати 23.06.2022. Дата выхода в свет 05.07.2022. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 14,2. Уч.-изд. л.14,7. Тираж 100 экз. Заказ № 303.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67, лит. А

Распространяется бесплатно