

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'25
XX Международная конференция
по электромеханике и робототехнике
15–16 апреля 2025 г.

Молодежная секция

Сборник докладов



Санкт-Петербург
2025

- 3-13 Завалишинские чтения'25: XX Международная конференция по электромеханике и робототехнике (СПб., 15–16 апреля 2025 г.). Молодежная секция: сб. докл. – СПб.: ГУАП, 2025. – 290 с.
ISBN 978-5-8088-2069-2

Доклады молодежной секции конференции отражают весь спектр направлений научных работ, проводимых Институтом киберфизических систем ГУАП: 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

Сопредседатели конференции:

О. А. Баулин – кандидат технических наук, доцент, ректор УГНТУ

С. Г. Емельянов – доктор технических наук, профессор, ректор ЮЗГУ

Ю. А. Железнов – кандидат технических наук, доцент, директор ИЭЭ РАН

И. В. Ковалёв – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Красноярский краевой Дом науки и техники Российского Союза научных и инженерных общественных объединений»

А. А. Оводенко – доктор технических наук, профессор, президент ГУАП, заведующий кафедрой ЮНЕСКО «Дистанционное инженерное образование», академик Метрологической академии РФ

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент, проректор по образовательным технологиям и инновационной деятельности, заведующий кафедрой электромеханики и робототехники ГУАП

Председатель программного комитета

В. Ф. Шишлаков – доктор технических наук, профессор, директор Института киберфизических систем ГУАП

Члены программного комитета:

С. В. Беззатеев – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационной безопасности ГУАП

Е. Г. Пахомова – кандидат технических наук, доцент, проректор по научной работе и международной деятельности ЮЗГУ

А. Ф. Супрун – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора института кибербезопасности и защиты информации СПбПУ

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

Е. А. Фролова – доктор технических наук, доцент, директор Института фундаментальной подготовки и технологических инноваций, главный редактор научного журнала «Инновационное приборостроение» ГУАП

М. И. Хакимьянов – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электрооборудования предприятий УГНТУ, главный редактор научного журнала «Электротехнические и информационные комплексы и системы» УГНТУ

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

В. А. Ямщиков – доктор технических наук, член-корреспондент РАН, руководитель научного направления электро-разрядной лазерной техники ИЭЭ РАН, Москва

С. Ф. Яцун – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой механики, мехатроники и робототехники ЮЗГУ

Руководитель рабочей группы

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электромеханики и робототехники, начальник образовательного офиса Инженерной школы ГУАП

УДК 621.313.13

Н. В. Александров

студент кафедры электромеханики и робототехники

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

СРАВНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С АСИНХРОННЫМИ И СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Введение

В современных условиях роста энергопотребления и ужесточения требований к энергоэффективности промышленных установок выбор типа электродвигателя играет ключевую роль. Традиционно в промышленности широко используются асинхронные и синхронные двигатели благодаря их надежности, простоте обслуживания и адаптивности к различным нагрузкам. Однако с развитием технологий все большую популярность приобретают вентильно-индукторные двигатели (ВИД) – инновационные устройства, которые выделяются высокой энергетической эффективностью, простотой конструкции и возможностью работы в сложных условиях эксплуатации.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ технико-экономических характеристик вентильно-индукторных двигателей, асинхронных и синхронных двигателей. Рассмотрим их ключевые параметры, такие как эффективность, надежность, стоимость эксплуатации, сложность управления и область применения. Анализ позволит определить, в каких ситуациях целесообразно использование того или иного типа электродвигателя, а также оценить перспективы внедрения вентильно-индукторных двигателей в различных отраслях промышленности.

Технико-экономические характеристики вентильно-индукторных двигателей

Вентильно-индукторные двигатели (ВИД) обладают уникальными технико-экономическими характеристиками, которые делают их конкурентоспособными по сравнению с асинхронными и синхронными двигателями. Одним из ключевых преимуществ ВИД является высокий коэффициент полезного действия (КПД), который достигает 85–95% в зависимости от условий эксплуатации, особенно при частичных нагрузках. Это обусловлено отсутствием обмоток на роторе и минимизацией потерь в активных частях [1].

Конструкция ВИД предельно проста: ротор не содержит обмоток или постоянных магнитов, что снижает его себестоимость и упрощает производство. Такая конструктивная особенность повышает надежность двигателя, так как отсутствуют элементы, подверженные значительному износу. Простота конструкции также способствует долговечности устройства и делает его пригодным для эксплуатации в сложных условиях, например, при высоких температурах или в загрязненной среде.

Одной из сильных сторон ВИД является способность обеспечивать высокий крутящий момент даже на низких оборотах. Быстрый отклик на изменения нагрузки делает эти двигатели подходящими для систем с высокими требованиями к регулированию скорости и момента. Кроме того, ВИД экономичны в эксплуатации благодаря низкой стоимости технического обслуживания: конструкция не требует частой замены изнашиваемых элементов, таких как щетки или сложные подшипники [2].

Эффективное использование энергии делает ВИД особенно привлекательными в проектах, где важно минимизировать эксплуатационные затраты. Однако для работы таких двигателей требуется сложная система управления, что увеличивает начальную стоимость привода. Тем не менее современные технологии позволяют компенсировать этот недостаток, обеспечивая высокую точность и надежность управления.

Благодаря своим характеристикам ВИД находят применение в различных сферах, включая электротранспорт, промышленные установки, авиацию и судостроение. Высокая надежность, долговечность и эффективность делают их перспективным решением для отраслей, где важны энергоэффективность и устойчивость к сложным условиям эксплуатации [2].

Сравнение технико-экономических характеристик с асинхронными и синхронными двигателями

Сравнение технико-экономических характеристик вентиляльно-индукторных, асинхронных и синхронных двигателей позволяет оценить их достоинства и недостатки, а также определить области их оптимального применения (рис. 1).

Кэффициент полезного действия (КПД). Асинхронные двигатели характеризуются относительно высоким КПД, который варьируется от 80 до 93% в зависимости от мощности и нагрузки. Синхронные двигатели, особенно с постоянными магнитами, обеспечивают еще более высокий КПД, достигая 95–97%. ВИД занимают промежуточное положение с КПД на уровне 85–95%, который особенно высок при частичной нагрузке. Это делает их привлекательными для применений, где характерны переменные нагрузки [1].

Конструкция. Асинхронные двигатели имеют обмотки как на статоре, так и на роторе, что делает их конструкцию сложнее и подверженной износу, особенно в случаях, когда используется короткозамкнутый ротор. Синхронные двигатели с постоянными магнитами отличаются сложностью производства из-за необходимости использования редкоземельных материалов. ВИД, в свою очередь, имеют простую и надежную конструкцию, так как ротор не содержит обмоток или магнитов, что снижает их стоимость и повышает долговечность [3].

Надежность и обслуживание. Асинхронные двигатели являются надежными, но требуют периодического обслуживания (например, замены или проверки изоляции обмоток). Синхронные двигатели с постоянными магнитами могут быть менее надежными в условиях высоких температур из-за ослабления магнитного поля постоянных магнитов. ВИД выигрывают благодаря простоте конструкции и отсутствию элементов, подверженных значительному износу, что делает их крайне надежными даже в агрессивных условиях эксплуатации.

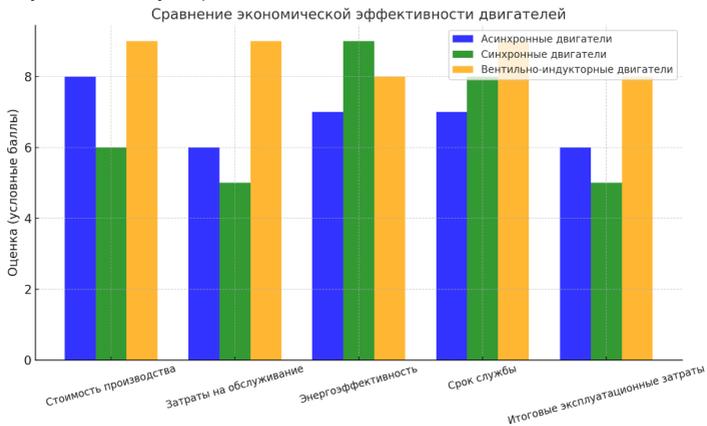


Рис. 1. Сравнение экономической эффективности

На рис. 1 представлено сравнение экономической эффективности асинхронных, синхронных и вентиляльно-индукторных двигателей. Вентильно-индукторные двигатели показывают наиболее высокую эффективность благодаря низкой стоимости производства, минимальным затратам на обслуживание и длительному сроку службы. Асинхронные двигатели выигрывают в начальной стоимости, но уступают по эксплуатационным затратам. Синхронные двигатели имеют высокую энергоэффективность, но требуют значительных затрат на производство и обслуживание.

Управление. Асинхронные двигатели требуют относительно простой системы управления, особенно в стандартных режимах работы. Для синхронных двигателей, особенно с постоянными магнитами, необходимы более сложные системы управления из-за особенностей регулирования тока в обмот-

ках. ВИД требуют высокотехнологичной системы управления для реализации своей эффективности, что увеличивает стоимость привода, однако современные цифровые технологии снижают этот недостаток [4].

Динамические характеристики (рис. 2). Синхронные двигатели с постоянными магнитами обеспечивают высокую точность регулирования скорости и момента, что делает их подходящими для высокотехнологичных приложений. Асинхронные двигатели несколько уступают в этой области из-за инерционности магнитного поля. ВИД демонстрируют превосходные динамические свойства, такие как быстрый отклик на изменение нагрузки, что делает их конкурентоспособными в системах с высокими требованиями к управлению [3].

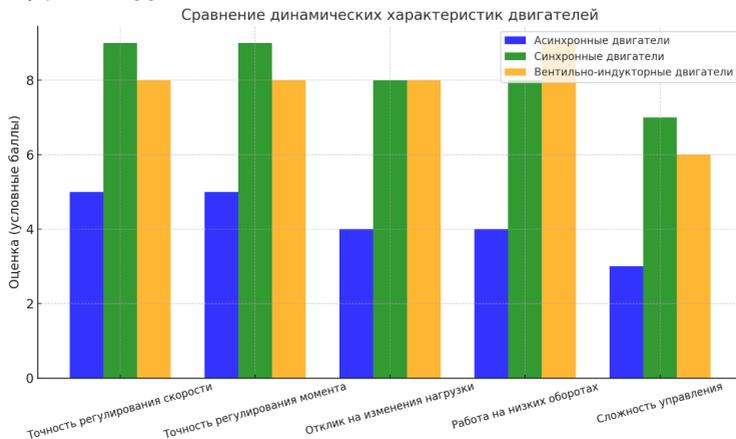


Рис. 2. Сравнение динамических характеристик

На рис. 2 показано сопоставление динамических характеристик асинхронных, синхронных и вентильно-индукторных двигателей. Синхронные двигатели демонстрируют лучшие результаты в точности управления, но имеют высокую сложность управления. Вентильно-индукторные двигатели занимают промежуточное положение, превосходя асинхронные двигатели по большинству параметров, особенно в работе на низких оборотах и отклике на изменения нагрузки.

Экономичность. Асинхронные двигатели традиционно дешевле в производстве и обладают хорошо развитой инфраструктурой для обслуживания. Синхронные двигатели с постоянными магнитами дороже из-за использования редкоземельных материалов, что ограничивает их применение в некоторых областях. ВИД, хотя и требуют больших вложений в системы управления, компенсируют это низкими затратами на обслуживание и высоким КПД [5].

Области применения. Асинхронные двигатели остаются универсальным решением для большинства промышленных задач. Синхронные двигатели активно используются в системах, где важна высокая точность управления и стабильность. ВИД находят применение в областях, где требуется высокая надежность, простота обслуживания и энергоэффективность, таких как электротранспорт, авиация, судостроение и специализированное оборудование.

В целом, выбор между этими типами двигателей зависит от требований конкретного приложения, доступного бюджета и приоритетов по энергоэффективности, надежности и стоимости владения.

Основные преимущества вентильно-индукторных двигателей относительно других асинхронного и синхронного двигателей

Вентильно-индукторные двигатели (ВИД) обладают рядом преимуществ, которые делают их конкурентоспособными по сравнению с асинхронными и синхронными двигателями (рис. 3). Одним из

главных достоинств ВИД является их простая конструкция: ротор не содержит обмоток, постоянных магнитов или сложных элементов, что упрощает производство, снижает стоимость и повышает надежность. Благодаря этому ВИД хорошо подходят для эксплуатации в сложных условиях, таких как высокая температура, запыленность или вибрации [6].

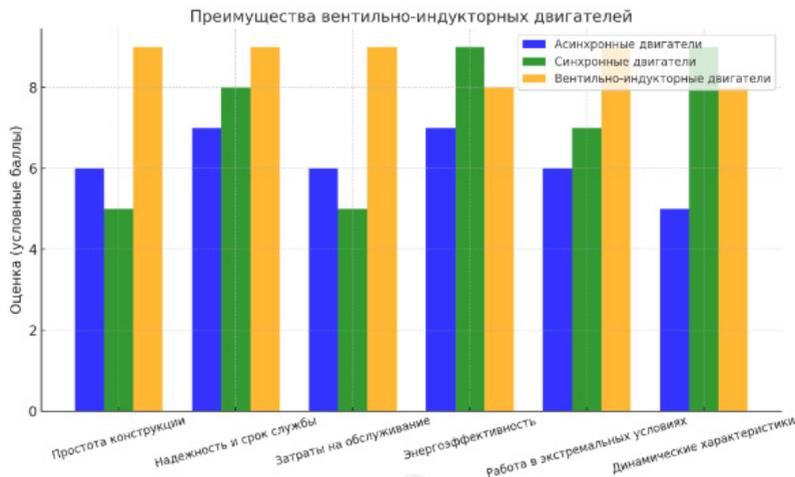


Рис. 3. Преимущества вентильно-индукторных двигателей

Высокая надежность и долговечность ВИД обусловлены минимальным количеством изнашиваемых элементов. Отсутствие обмоток на роторе и сниженная потребность в техническом обслуживании делают эти двигатели устойчивыми к отказам и экономически выгодными в эксплуатации. Они могут успешно работать в агрессивных средах, где асинхронные и синхронные двигатели подвержены ускоренному износу.

Энергетическая эффективность ВИД также является важным преимуществом. Коэффициент полезного действия может достигать 85–95%, особенно при частичных нагрузках, что делает их отличным выбором для задач, требующих оптимизации потребления энергии. Кроме того, ВИД обеспечивают высокие динамические характеристики, такие как быстрый отклик на изменения нагрузки и высокий момент даже на низких оборотах. Это делает их подходящими для систем с высокой точностью регулирования и быстро меняющимися условиями работы [4].

Отдельно стоит отметить устойчивость ВИД к экстремальным условиям эксплуатации. Эти двигатели демонстрируют высокую работоспособность в условиях перегрузок, вибраций, запыленности и влажности, что делает их универсальными и надежными в применении. Помимо этого, ВИД не зависят от использования редкоземельных материалов, которые требуются для синхронных двигателей с постоянными магнитами. Это снижает себестоимость и делает их производство менее зависимым от колебаний цен на редкие ресурсы.

Таким образом, вентильно-индукторные двигатели выгодно выделяются своей надежностью, энергоэффективностью, экономичностью в обслуживании и способностью работать в сложных условиях. Эти преимущества делают их перспективным решением для электротранспорта, авиации, судостроения и промышленных установок, где критически важны устойчивость, минимальные эксплуатационные затраты и высокая производительность.

Список источников

1. Копылов И. П. Электрические машины: учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во Юрайт, 2024. С. 72–81.

2. Кузнецов В. А., Кузьмичев В. А. Вентильно-индукторные двигатели. М.: Изд-во МЭИ, 2003. С. 6–10 с.
3. Смирнов Ю. В. Электромагнитный вентильно-индукторный двигатель // Электротехника. 2009. № 3. С. 20-22.
4. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов. М.: ИД МЭИ, 2006. 432 с.
5. Проектирование электрических машин / И. П. Копылов и др. 2005.
6. Вольдек А. И., Попов В. В. Электрические машины. Машины переменного тока: учебник для вузов. СПб.: Питер. 2008. 350 с.

УДК 004.8

Д. М. Алексеев

ученик 9-го класса гимназии № 330

В. Р. Лебедев, В. Н. Лизько – магистранты кафедры электромеханики и робототехники – научные руководители

ГЕНЕРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В данной статье проведен обзор алгоритмов генерации изображений на основе искусственного интеллекта. Рассмотрены области применения, проблемы генерации сложных объектов. Описаны подходы к обучению таких моделей.

Генерация изображений с помощью искусственного интеллекта представляет из себя использование алгоритмов и моделей, которые способны создавать визуальный контент, такие как фотографии, иллюстрации и графику.

Актуальность данной темы заключается в том, что генерация изображений с помощью искусственного интеллекта стала важной областью исследований и применений во многих аспектах нашей жизни. В творчестве и искусстве искусственный интеллект может создавать уникальные произведения, что открывает новые горизонты для творческих профессионалов. В анимации и дизайне генерация изображений позволяет создавать графику и анимацию в видеоиграх и фильмах, значительно сокращая время и затраты на производство. В индустрии моды искусственный интеллект используется для генерации новых концепций одежды и текстильных узоров, что помогает дизайнерам быстро разрабатывать новые коллекции. В медицинской визуализации генерация изображений может помочь в создании 3D-моделей органов на основе медицинских снимков, что улучшает диагностику и планирование лечения. В образовании генерация изображений может использоваться для создания образовательных материалов, таких как иллюстрации для учебников или моделирование научных концепций. В рекламе и маркетинге искусственный интеллект может создавать баннеры, рекламные ролики и другие визуальные материалы, персонализированные для различных целевых аудиторий. Наконец, в виртуальной и дополненной реальности генерация изображений является важной частью разработки контента, создавая более погружающий опыт.

Существует несколько основных подходов к генерации изображений, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны. Наиболее популярные из них – это генеративно-сопоставительные сети (GAN), автоэнкодеры вариационного типа (VAE) и модели диффузии.

Генеративно-сопоставительные сети (GAN)

GAN были предложены Иэном Гудфеллоу в 2014 году и стали одним из самых известных и широко используемых методов генерации изображений. Эта модель состоит из двух нейронных сетей – генератора и дискриминатора, которые работают в противостоянии друг другу (рис. 1).

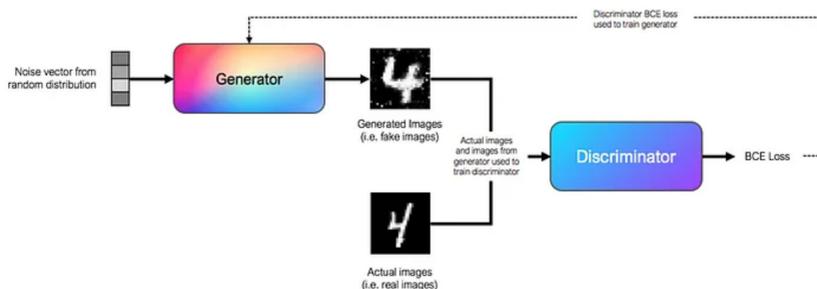


Рис. 1. Принцип работы генеративно-сопоставительной модели

Генератор создает новые изображения, стремясь обмануть дискриминатор, который пытается отличить реальные изображения от фальшивых. Этот процесс позволяет GAN генерировать высококачественные и реалистичные изображения, что делает их популярными в области искусства и дизайна.

Автоэнкодеры вариационного типа (VAE)

VAE представляют собой другой подход к генерации изображений, основанный на концепции вероятностного моделирования. В отличие от GAN, VAE стремятся не только восстанавливать входные данные, но и извлекать из них латентные представления, которые затем могут быть использованы для генерации новых образцов. Этот метод особенно полезен в задачах, связанных с анонимизацией изображений и уменьшением их размерности. Тем не менее, VAE часто создают более размытые результаты по сравнению с GAN из-за их вероятностного подхода.

Автоэнкодеры представляют собой другой подход к генерации изображений, который основан на методе обучения без учителя. Автоэнкодеры состоят из двух частей: кодировщика и декодировщика (рис. 2). Идея в том, что кодировщик (Кодировщик принимает входные данные и генерирует скрытое представление.) преобразует входное изображение в компактное представление, а декодировщик восстанавливает изображение из этого кода. Обучение происходит с использованием функции потерь (bottleneck), которая измеряет разницу между исходным изображением и восстановленным.

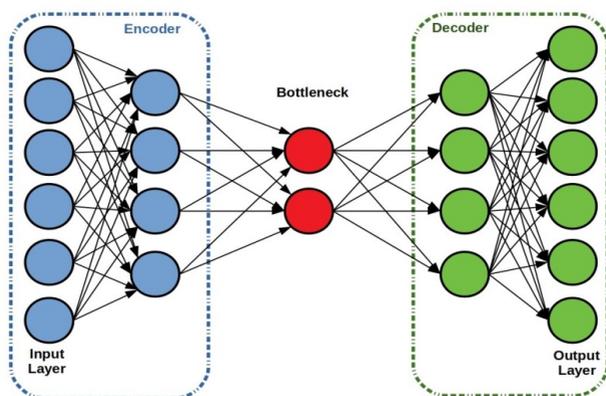


Рис. 2. Принцип работы автоэнкодеров вариационного типа

Преимущества: автоэнкодеры просты в реализации и могут быть задействованы в решении многих задач, включая уменьшение размерности и очистку изображений.

Недостатки: качество генерируемых изображений не самое лучшее из возможных, и они могут не улавливать сложные распределения данных.

Модели диффузии

Модели диффузии – это более новый класс генеративных моделей, который стал популярным в последние годы. Эти модели начинают со случайного шума и последовательно «очищают» его, начиная с максимально хаотичного состояния и заканчивая четким и осмысленным изображением. Основная идея этого подхода заключается в том, что шум постепенно преобразуется в изображение путем применения обратного процесса диффузии.

Процесс включает в себя обучение на больших объемах данных и позволяет достигать высококачественных результатов. Модели диффузии часто используются для создания реалистичных изображений, и их успех стал возможен благодаря улучшению таких техник, как стеганография и обратная диффузия (рис. 3).

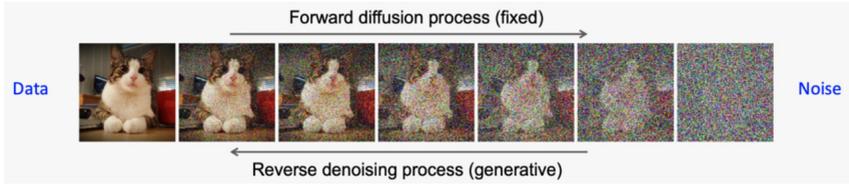


Рис. 3. Принцип работы диффузионной модели

Преимущества: высокое качество генерируемых изображений и устойчивость к различным проблемам.

Недостатки: более высокая сложность и большие вычислительные затраты на обучение и генерацию изображений.

Подходы к обучению нейросетей для генерации изображений

Генерация изображений с помощью нейросетей является одной из самых увлекательных и активно развивающихся областей в искусственном интеллекте. Существует множество подходов к обучению нейросетей.

Идея обучения энкодеров удаления шума диффузионных моделей заключается в добавлении шума к исходному изображению и использовании его в качестве входных данных, но для расчета ошибки сравнивается с очищенным оригиналом. Таким образом, модель учится удалять шум с изображения, но как побочный эффект, она больше не может просто запомнить входные данные, потому что вход и выход не совпадают. Такой подход позволяет улучшить обобщающую способность модели, что делает ее более эффективной при работе с новыми, ранее не виденными изображениями. В результате модель становится способной не только удалять шум, но и создавать новые изображения, которые сохраняют стилистические и семантические черты оригинальных данных. Вот как выглядит процесс обучения (рис. 4).

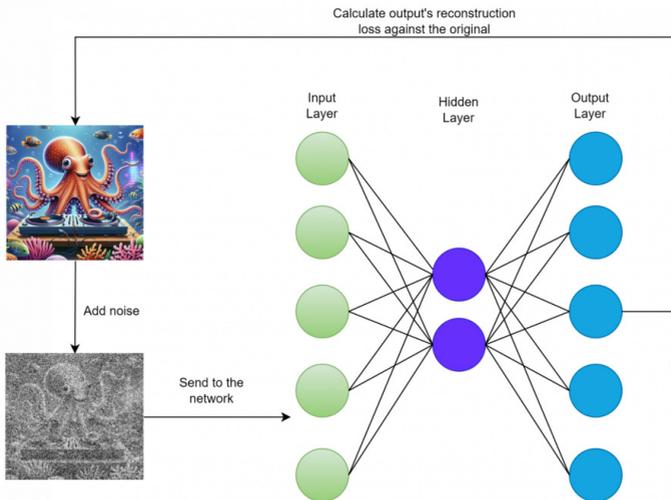


Рис. 4. Подход к обучению

Сложности нейросетей с генерацией некоторых аспектов

Генерация рук: руки имеют сложную анатомию с множеством суставов и поз. Генерация их в разных положениях может привести к искажениям и неправильным пропорциям. Положение и жест рук могут сильно меняться, что делает их поведение сложной задачей для предсказания. Даже малейшее изменение угла наклона или поворота может изменить восприятие. Нейросети могут испытывать трудности с реалистичной передачей текстур и деталей, например, ногти, линии на коже и другие характеристики.

Сложность эмоций: эмоции часто зависят от изменений в выражении лица, что часто трудно для нейросетей. Например, легкая улыбка может быть похожа на обычное выражение лица, и различать эти состояния может быть крайне трудно для нейросети. Эмоции могут меняться в зависимости от контекста, что делает задачу более сложной. Например, одна и та же ситуация может вызывать разные эмоции в зависимости от окружающих условий.

Позиции тела человека могут быть бесконечно разнообразными, это делает их трудными для генерации с хорошей точностью. Нейросети могут не учитывать биомеханику и физические ограничения человеческого тела в своих генерациях, что часто приводит к нереалистичным позам. Люди не всегда симметричны, что тоже может создавать дополнительные сложности при генерации естественных поз. Также нужно принять во внимание, что нейросети часто не могут адекватно учитывать окружающий контекст, который может влиять на то, как выглядят руки, эмоции и позы. Например, положение человека в пространстве или его взаимодействие с объектами могут изменять многие аспекты генерации. В результате этих сложностей дальнейшие исследования и разработка более совершенных методов остаются актуальными, чтобы улучшить качество генерации рук, эмоций и поз с использованием нейросетей.

Заключение

Итак, можно сказать, что алгоритмы глубокого обучения, такие как GAN и VAE, значительно расширили возможности генерации изображений, что нашло применение в искусстве, видеоиграх и кино. Тем не менее, возникает ряд различных вопросов, включая авторские права и влияние на рынки труда. Будущее технологий предполагает улучшение качества изображений и упрощение взаимодействия с ИИ. Генерация изображений является примером успешного соединения компьютерных наук, искусства и дизайна; открывает новые перспективы для междисциплинарного сотрудничества и дальнейших исследований в этой области.

Список источников

1. Диффузионные нейросети – самый актуальный подход к генерации изображений. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/689072/> (дата обращения: 13.03.2025).
2. Автоэнкодеры простыми словами. URL: <https://habr.com/ru/companies/raft/articles/851548/> (дата обращения: 12.03.2025).
3. Основы генеративно-состязательных нейросетей. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/689072/> (дата обращения: 10.03.2025).

УДК 004.032

Р. А. Алексеев

ученик 9-го класса школы № 693

Н. В. Александров – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ИСКУССТВЕННАЯ НЕЙРОСЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Распознавание объектов – одна из фундаментальных задач компьютерного зрения, которая лежит в основе многих современных технологий. Задача заключается не только в обнаружении объектов, но и в их классификации, семантической сегментации и прогнозировании поведения. Искусственные нейросети (ИН) стали основным инструментом для решения этих задач благодаря своей способности эффективно обрабатывать большие объемы данных и выявлять сложные закономерности.

Цель данной работы заключается в глубоком исследовании областей применения искусственных нейронных сетей для распознавания объектов на изображениях и в видеопотоках. Особое внимание уделяется анализу современных подходов, методов обучения и практического применения технологий компьютерного зрения. Исследование направлено на выявление ключевых тенденций в развитии нейросетевых архитектур, их адаптации к решению задач в реальном времени и интеграции в различные отрасли.

Основные типы нейросетей

Нейросеть представляет собой вычислительную модель (рис. 1), вдохновленную работой человеческого мозга. Основная идея нейросети заключается в многослойной обработке информации, где каждый слой нейронов выполняет свою роль: извлечение признаков, их анализ и принятие решения. Чем больше слоев в нейросети, тем сложнее задачи она может решать. Нейросети широко применяются в компьютерном зрении, обработке естественного языка, робототехнике и многих других областях, где требуется сложный анализ данных и адаптация к новым условиям. Основные типы нейросетей, которые широко используются для распознавания объектов представлены ниже [1].

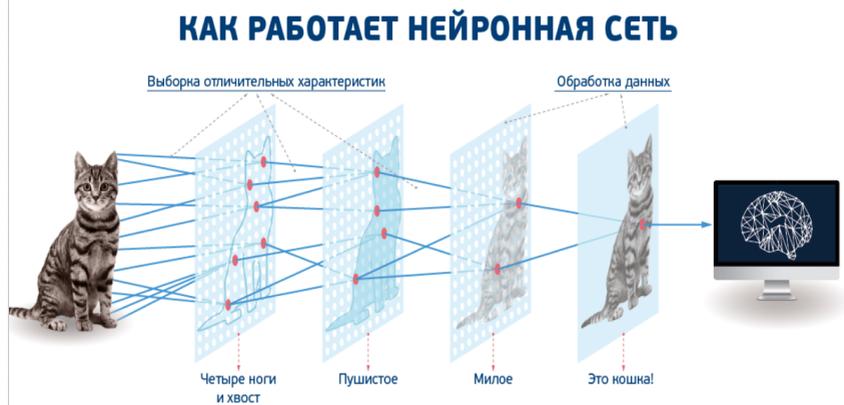


Рис. 1. Принцип работы нейронной сети

Многослойные перцептроны (MLP) – это класс искусственных нейронных сетей прямого распространения, состоящих как минимум из трех слоев: входного, скрытого и выходного. За исключением входных, все нейроны используют нелинейную функцию активации. MLP стали первооткрывателями в

мире нейросетей. Хотя MLP показывают неплохие результаты в ряде задач, их возможности ограничены при работе с двумерными данными, такими как изображения.

Преимущества: MLP может использоваться для решения множества задач: классификации, регрессии, распознавания образов, прогнозирования временных рядов и др. Количество слоев и нейронов можно варьировать, подстраивая сеть под конкретную задачу. MLP является базовой моделью в нейросетях, и его легко реализовать даже новичкам [2].

Ограничения: неэффективность при работе с двумерными данными, такими как изображения; высокая вычислительная сложность для больших наборов данных.

Сверточные нейронные сети (CNN) (рис. 2). Позволяют компьютерам распознавать и классифицировать изображения с высокой точностью. В отличие от традиционных нейронных сетей, CNN специально разработаны для обработки данных, имеющих сетчатую структуру, таких как изображения. CNN стали настоящей находкой для задач распознавания объектов. Благодаря своей архитектуре, они способны извлекать пространственные особенности изображений, такие как края и текстуры, что делает их эффективными для работы с визуальными данными. Сверточные слои (так называемые фильтры) позволяют моделям выделять ключевые признаки объектов, а слои подвыборки помогают уменьшить размерности изображений [2].



Свёрточная Нейросеть (CNN)

Рис. 2. Сверточная нейронная сеть (CNN)

Преимущества: высокая точность распознавания объектов. Устойчивость к изменениям масштаба, поворота и освещения. Современные CNN, такие как ResNet и EfficientNet, достигают рекордных показателей точности на наборах данных ImageNet и COCO.

Ограничения: CNN требует мощных графических процессоров (GPU) и больших объемов памяти для обучения и работы. Если входные изображения сильно зашумлены, изменены по контрасту или содержат артефакты, точность модели может снизиться. CNN плохо работает с временными рядами, текстами и аудио (для этих задач лучше подходят RNN, LSTM, Transformer).

Рекуррентная нейронная сеть (RNN) – это тип искусственной нейросети, предназначенный для обработки последовательных данных. В отличие от обычных нейросетей, которые обрабатывают входные данные независимо друг от друга, RNN обладает внутренней памятью, позволяющей учитывать информацию из предыдущих шагов при обработке текущего элемента последовательности. Ключевая особенность рекуррентных нейросетей – это циклические связи, которые позволяют передавать информацию не только вперед, но и обратно внутрь самой себя. Это позволяет RNN учитывать контекст предыдущих элементов при анализе текущих данных [3].

Преимущества: обработка последовательных данных (текста, аудио, временных рядов). Запоминание предыдущих состояний, что важно для контекста. Гибкость – можно применять к разным задачам (перевод, распознавание речи, предсказание временных рядов).

Ограничения: высокая вычислительная сложность. Медленное обучение – так как нужно учитывать предыдущее состояние, обучение происходит последовательно, что замедляет процесс. Плохая работа с долгосрочной памятью – базовая RNN теряет информацию на больших промежутках.

Процесс распознавания объектов

Распознавание объектов нейронными сетями – это процесс идентификации, классификации и локализации объектов на изображениях или в видеопотоках с использованием методов машинного обучения и нейронных сетей. Этот процесс широко используется в задачах компьютерного зрения и включает в себя несколько ключевых этапов, начиная от предварительной обработки данных и заканчивая выводом результатов.

Распознавание объектов позволяет нейросетям не только определять, что изображено на картинке, но и классифицировать объекты, а также в некоторых случаях определять их местоположение на изображении. Этот процесс активно применяется в таких сферах, как безопасность (системы видеонаблюдения), медицина, автономные автомобили.

Сбор данных. Эти данные должны быть разнообразными и хорошо размеченными. Сбор изображений включает в себя сбор различных изображений, которые могут быть использованы для обучения нейросети. Эти изображения должны содержать объекты, которые нейросеть должна будет распознавать. Популярные наборы данных, такие как COCO, Pascal VOC и ImageNet, широко используются для обучения и тестирования моделей [2].

Обработка изображений. После сбора данных изображения проходят предварительную обработку. Этот этап может включать в себя масштабирование, нормализацию и аугментацию (придание новых форм существующим данным). Каждое изображение должно быть размечено, что означает указание на картинке, где расположен объект, а также его классификация (например, «собака», «кошка», «машина» и так далее). Предобработка данных – этап, на котором изображения могут быть изменены для удобства работы нейросети.

Обучение модели. Обучение нейросети – это процесс, в котором нейросеть обучается распознавать объекты, используя размеченные данные. На этом этапе нейросеть анализирует изображения, выделяет ключевые признаки и учится на примерах, какие паттерны соответствуют определенным объектам. Модель обучается с помощью метода обратного распространения ошибки. На каждом этапе нейросеть делает предсказание на основе текущих весов. Затем происходит корректировка весов в зависимости от разницы между предсказанием и истинными метками. Для обучения нейросети в процессе распознавания объектов чаще всего используются сверточные нейронные сети (CNN). Обучение требует множества итераций и применения оптимизаторов, таких как Adam или SGD [4].

Тестирование и валидация. После обучения модель проверяется на отдельном наборе данных, чтобы оценить ее производительность. Это процесс, который помогает оценить, насколько хорошо модель обобщает свои знания на новых, ранее не виденных данных. Основная цель – проверить, как хорошо модель будет работать в реальных условиях, когда она будет сталкиваться с изображениями или данными, не использованными в процессе обучения. Тестирование модели включает в себя оценку ее производительности на тестовом наборе данных с использованием различных метрик. Для этого используются такие показатели, как точность, полнота и F-мера, которые помогают понять, насколько хорошо модель распознает объекты.

Применение на практике. После успешного тестирования модель внедряется в реальные приложения. Распознавание объектов с использованием нейронных сетей находит широкое применение в различных сферах, включая медицину, транспорт, безопасность, производственные процессы и розничную торговлю. Здесь важны производительность и скорость обработки, особенно когда дело касается систем, работающих в реальном времени, например, видеонаблюдения или беспилотных автомобилей [3].

Современные подходы и алгоритмы

Faster R-CNN. Это одна из самых эффективных и популярных архитектур нейронных сетей для задачи обнаружения объектов на изображениях. Эта модель использует двухступенчатый подход: сначала она предлагает области интереса, а затем классифицирует объекты в этих областях. Преимущества: Ускорение обработки – интеграция процесса генерации предложений в обучающую модель. Достигается высокая точность в обнаружении объектов. Faster R-CNN позволяет обучать все компоненты модели в рамках единой сети с использованием градиентного спуска, что позволяет модели улучшать всех своих частей одновременно. Недостатки: Высокие требования к вычислительным ресурсам. Тре-

бует большого объема данных для достижения хороших результатов, что может ограничивать его использование в приложениях с ограниченными данными. Сложность в реальном времени: может все равно не быть достаточно быстрым для некоторых приложений, требующих обработки в реальном времени [4].

YOLO (You Only Look Once) – это одна из самых популярных и эффективных моделей для задачи обнаружения объектов в изображениях и видео. В отличие от традиционных методов, которые выполняют задачу обнаружения объектов через несколько этапов, YOLO решает эту задачу за один проход через сеть, что делает ее гораздо быстрее и эффективнее. Это однослойный метод, который позволяет в режиме реального времени обнаруживать и распознавать объекты в видеопотоке. Эта модель превосходит старые технологии по скорости, хотя в некоторых сценариях может уступать по точности. Преимущества: YOLO выполняет обнаружение объектов за один проход. Обнаружение объектов в реальном времени. Объединяет все этапы обнаружения объектов в одну модель. Высокая точность для крупных объектов. Недостатки: YOLO может испытывать трудности с точным распознаванием мелких объектов на изображениях. Может не всегда обеспечивать такие же высокие результаты на сложных изображениях [4].

SSD (Single Shot Detector) популярный метод для обнаружения объектов на изображениях. SSD является одним из более быстрых методов по сравнению с предыдущими подходами, такими как R-CNN или Fast R-CNN, поскольку он выполняет задачу обнаружения объектов за один проход через сеть. Сочетает в себе стратегии YOLO и R-CNN, обеспечивая высокую скорость и приемлемую точность. Эта модель делит изображение на сетку и предсказывает объекты на каждом этапе. Преимущество – быстродействие. SSD значительно быстрее, чем R-CNN и Fast R-CNN, поскольку он производит все предсказания за один проход. SSD использует несколько уровней для детекции объектов, что позволяет ему успешно обнаруживать как мелкие, так и крупные объекты. SSD использует более простую архитектуру, которая делает его легче для обучения и оптимизации по сравнению с другими моделями.

Недостатки заключаются в том, что несмотря на поддержку многомасштабных предложений, SSD может иметь проблемы с точностью при обнаружении очень мелких объектов, особенно в сложных сценах с множеством объектов, которые могут перекрывать друг друга. SSD может иметь немного худшую точность по сравнению с Faster R-CNN в задачах, где важна высокая точность. SSD требует большого объема данных для эффективного обучения. В случае ограниченных данных модель может не продемонстрировать свою полную мощность [4].

Применение и будущее развитие

Распознавание объектов с использованием искусственных нейросетей является одной из самых активных и быстро развивающихся областей искусственного интеллекта и машинного обучения. В последние годы достижения в этой области оказали значительное влияние на множество отраслей, начиная от здравоохранения и автопилота до безопасности и розничной торговли. В этом разделе мы рассмотрим ключевые применения нейросетей для распознавания объектов и их возможное будущее развитие.

Автономные транспортные средства. Одним из самых известных и перспективных направлений применения искусственных нейросетей является обнаружение объектов для автономных транспортных средств. Машины с автопилотом должны быть способны распознавать различные объекты, такие как другие автомобили, пешеходы, дорожные знаки, препятствия и прочее [3].

Медицина и здравоохранение. Нейросети активно применяются для обработки медицинских изображений. Они помогают распознавать и классифицировать различные объекты на медицинских снимках, таких как рентгеновские снимки, МРТ и КТ, что способствует более точной диагностике заболеваний.

Безопасность и видеонаблюдение. Видеонаблюдение с использованием нейросетей позволяет эффективно обнаруживать объекты, такие как люди, транспортные средства, оружие и другие подозрительные объекты

Обработка спутниковых и аэрофотоснимков. Для мониторинга земной поверхности, сельского хозяйства, а также для анализа воздействия природных бедствий, таких как пожары, наводнения и зем-

летрясения, используются нейросети для распознавания объектов на спутниковых и аэрофотоснимках [3].

Дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR). В дополненной реальности (AR) нейросети позволяют распознавать объекты в реальном мире, чтобы накладывать на них виртуальные элементы. Это широко используется в приложениях для игр, обучения, туризма и дизайна. Например, приложения, такие как Pokémon GO, используют распознавание объектов для создания взаимодействия с виртуальными объектами в реальном мире.

Заключение

Искусственные нейросети значительно изменили подход к обработке и анализу визуальных данных. Благодаря своей способности обеспечивать высокую точность и скорость распознавания, они открывают новые горизонты в различных областях, начиная от медицины и заканчивая автономными транспортными средствами. Тем не менее, выбор между различными архитектурами зависит от требований конкретного приложения, доступного бюджета и приоритетов по энергоэффективности, надежности и стоимости владения.

Список источников

1. Бекмурзов С. А. Технологии компьютерного зрения. М.: Наука, 2020. 300 с.
2. Лепехин И. А. Глубокое обучение для распознавания объектов // Журнал искусственного интеллекта. 2021. № 4. С. 44–50.
3. Тихонов А. Т., Кузнецов Д. О. Автономные системы распознавания объектов // Техническая информатика. 2022. № 2. С. 33–38.
4. Яковлева Н. И. Рекомендации по созданию и обучению нейросетей. URL: <https://www.researchgate.net/publication/338000000> (дата обращения: 02.03.2025).

УДК 004.896

И. М. Арюткин

ученик 9-го класса школы № 693

В. А. Давыдов – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ЗНАЧЕНИЕ РОБОТОВ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ

Введение

Современный мир невозможно представить без роботов. За последние несколько десятков лет они стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Роботы используются в самых разных сферах: начиная от промышленности и медицины и заканчивая бытом и освоением космоса. Технический прогресс не стоит на месте, благодаря этому появляются новейшие модели, существование которых раньше нельзя было и представить, а существующие роботы становятся все более обученными, автономными и доступными, что открывает новые возможности для человечества [1].

Отсюда и вытекает актуальность данной темы. Роботы окружают нас повсюду, и мы уже ощущаем их огромное влияние на современный мир. Они повышают эффективность, снижают затраты и открывают новые горизонты для исследований. Однако их внедрение также ставит важные вопросы перед обществом: как изменится рынок труда, какие этические нормы необходимы для взаимодействия с роботами и как обеспечить равный доступ к этим технологиям?

Рассмотрение значения роботов в современном мире – это не просто анализ их разновидностей, функций и областей применения, это попытка понять, насколько значимые изменения они привнесут сейчас и будут приносить в жизнь современного человека, и как эти изменения дальше будут сказываться на ней.

Роботы, как следствие прогресса

Слово «Робот» не имеет единого, однозначно-определенного понятия, разные ученые и инженеры интерпретируют понятие «Робот» в рамках своей работы. Однако, если обобщить все эти понятия, то можно сказать, что робот – это автоматическое устройство, предназначенное для выполнения определенных задач, обычно запрограммированных человеком. Роботы могут быть как физическими устройствами, так и виртуальными программами. Они способны выполнять действия самостоятельно или с минимальным вмешательством человека, для этого они используют различные виды датчиков, камер и других устройств, выполняющих функции органов чувств человека [2].

Изначально роботы создавались для автоматизации промышленных процессов. Они могли выполнять простые рутинные задачи, требующие большой повторяемости при минимальном падении качества выполняемого процесса. Далее люди начали создавать роботов для выполнения опасной работы, которая может угрожать жизни человека, например, в химической промышленности. С развитием технологий роботы начали появляться практически во всех сферах жизни человека, постепенно произошел переход от простых механизмов к сложным системам, интегрируемым в жизнь человека. График, на рис. 1, показывает, что в среднем, с каждым годом, в мире происходит увеличение количества роботов и этот процесс имеет тенденцию к росту, что говорит об увеличении количества роботов и развитии роботизации в будущем [3].

Не трудно заметить, что для различных областей и задач используются не одни и те же модели, имеющие возможность выполнять различные функции, это принципиально отличающиеся образцы, имеющие уникальные конструкции и назначения. С развитием робототехники увеличивается и разнообразие видов и моделей роботов. Если 50 лет назад создавались, преимущественно, промышленные роботы, то в современном мире этот список насчитывает порядка 8 основных видов:

- промышленные роботы – 48%;
- медицинские роботы – 18%;
- бытовые роботы – 12%;
- сервисные/коммерческие роботы – 10%;
- военные/спасательные роботы – 5%;

- сельскохозяйственные роботы – 4%;
- исследовательские космические роботы – 2%;
- коботы – 1%.

Уровень распространенности роботов в мире

Единица на 10 тыс. сотрудников

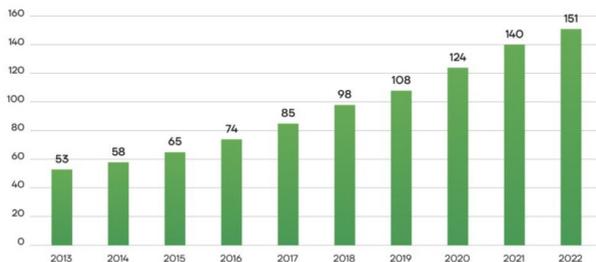


Рис. 1. Уровень распространения роботов в мире

Лидирующее место по-прежнему занимают промышленные роботы из-за массового спроса на автоматизацию в крупносерийном производстве, например, в автомобилестроении и электронике, где критически важны скорость, точность и снижение затрат. Их раннее внедрение и высокая рентабельность для бизнеса закрепили лидерство, тогда как другие категории роботов развиваются в более нишевых или молодых сегментах.

Применение роботов в различных сферах

Как было упомянуто выше, роботы используются во многих областях жизни человека и способны выполнять самые разные функции. Человечество научилось использовать роботов во благо, ниже будут приведены примеры этого использования роботов для самых разных задач.

1) Робот-сварщик FANUC ARC Mate. Робот-сварщик от компании FANUC, представленный на рис. 2, представляющий собой мощный манипулятор с дуговой сваркой, работающий в режиме 24/7, применяется на автомобильных заводах компаний-гигантов: Toyota, Ford, Volvo. Робот автоматически корректирует траекторию горелки, используя 3D-визуализацию швов. Его система анализирует температуру металла и подает присадку так, чтобы минимизировать деформации. При этом робот-сварщик имеет высокую производительность, при сварке дверей автомобиля он делает 200 точечных швов за 12 минут [4].



Рис. 2. Робот-сварщик FANUC ARC Mate

Используя робота вместо человека сварщика, предприятие повышает качество швов на 40%. Достигается это тем, что в этом случае исключается человеческий фактор, в виде усталости, дрожи в руках и т.д. На заводе Volvo благодаря внедрению ARC Mate сократилось количество дефектов у кузовов с 5 до 0.3%. Помимо этого, робот работает в зонах с высокой запыленностью и температурами до 50°C, где человеку потребовался бы частый отдых. Предприятиям выгодно иметь таких роботов, так как замена 10 человек-сварщиков одним роботом экономит компании 1.2 млн в год (с учетом зарплат, больничных и страховок). В добавок к этому скорость конвейера растет – выпуск готовых кузовов увеличивается с 50 до 80 в час. Основным минусом такого робота является его высокая начальная стоимость и необходимость в квалификации обслуживающего персонала. Однако для массового производства это оптимальное решение.

2) Робот-упаковщик KUKA KR QUANTEC. Робот-упаковщик компании KUKA представлен на рис. 3. Данный робот используется на различных фабриках по производству продуктов питания, основная задача – упаковка товаров и перемещение запакованных коробок. Он представляет собой манипулятор с грузоподъемностью до 240 кг, который перемещает товары с конвейера в коробки, формируя слои с высокой точностью. Робот оснащен системой компьютерного зрения, которая определяет дефекты упаковки, такие как: надрывы, неправильная маркировка. На заводе Nestlé робот обрабатывает 200 бутылок сиропа в минуту, сортируя их по цвету и объему [5].



Рис. 3. Робот-упаковщик KUKA KR QUANTEC

3) В зонах погрузки робот показывает себя намного эффективнее человека, он упаковывает на 70% быстрее, а травматизм на производстве заметно снижается, благодаря тому, что робот заменяет людей в зонах с резкими движениями конвейера. Например, на фабрике мороженого в Италии KR QUANTEC сократил потери продукта из-за поврежденной упаковки с 8% до 0.5%. Автоматизация упаковки увеличивает рентабельность на 15–20%, например, для компании Coca-Cola внедрение 10 таких роботов KUKA дало экономию в 2 млн. дол. в год за счет снижения затрат на логистику: точно упакованные коробки, образуют ровные слои, из-за чего заполняемость в грузовиках становится более экономичной.

4) Хирургический робот Da Vinci. Уникальная, в своем роде, разработка, представленная на рис. 4, используется в качестве инструмента для проведения малоинвазивных операций (кардиохирургия, урология, гинекология). Робот не работает автономно, управление им осуществляется хирургом через специализированную консоль. Хирургический робот позволяет выполнять точные операции микроинструментами, увеличивая изображение оперируемой зоны в 10–12 раз. Умная система способна фильтровать дрожь рук человека, обеспечивая стабильность и высокую точность движений.



Рис. 4. Хирургический робот Da Vinci

Благодаря использованию данного вида роботов больницы смогли добиться снижения кровопотери на 30–50%, уменьшения риска инфекций из-за меньших разрезов, а также сокращения времени восстановления пациентов: с 8 до 2–3 недель [6]. В связи с этим больницы экономят на послеоперационном уходе, а пациенты быстрее возвращаются к нормальной жизни. Несмотря на высокую стоимость (около 2 млн дол.) Da Vinci остается «золотым стандартом» роботизированной хирургии. За последние 20 лет было проведено более 10 млн успешных операций с его применением.

5) Автономный складской робот Amazon Hercules. Данный вид роботов является транспортным и используется для решения логистических задач. Основной сферой его применения являются складские помещения и распределительные центры. Автономность данного робота достигается за счет использования алгоритмов машинного обучения, для построения оптимальных маршрутов в реальном времени, а датчики LiDAR помогают ему ориентироваться в пространстве. Amazon Hercules, представленный на рис. 5, может поднимать и перемещать стеллажи весом до 1 тонны [7].



Рис. 5. Автономный складской робот Amazon Hercules

Благодаря использованию данных роботов, компании увеличивают скорости обработки заказов на 40–60%, при этом сокращается количество ошибок при подборе товаров с 3% до 0.01%. В отличие от человека, робот работает без перерывов, в одном и том же темпе, сохраняя работоспособность на одном уровне. Внедрение Hercules в технологические процессы компании Amazon снизило затраты на логистику на 20%, а время доставки заказов уменьшилось с 2 дней до 12 часов в пределах одного региона. Недостатком данного робота является высокая сложность настройки и подстройки робота под нестандартные ситуации.

6) Подводный робот BlueROV2. BlueROV2, изображенный на рис. 6, представляет собой подводный аппарат, служащий для изучения морских глубин, инспекции подводных трубопроводов, поиска затонувших объектов и т.д. Во время работы аппарат погружается на глубину до 300 м, передает видео в 4К, берет пробы воды и грунта манипуляторами. Управление данным роботом может осуществляться дистанционно через оптоволоконный кабель или робот может работать автономно по заранее заданному маршруту [8].

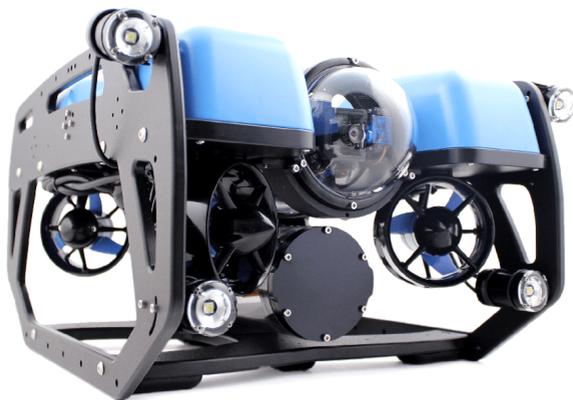


Рис. 6. Подводный робот BlueROV2

Основное преимущество робота перед люди заключается в том, что он может исследовать опасные и недоступные зоны, находится там длительное время, при этом не уменьшая свою работоспособность. Аквалангистам в этих условиях пришлось бы рисковать своей жизнью.

Используя данных роботов компании экономят до 500 тыс. руб. на одном проекте, избегая останки добычи для ручного осмотра. Ученые используют BlueROV2 для изучения «hydrothermal vents», где температура может достигает 400°C – человеку там физически невозможно работать. Недостатком является зависимость от качества связи и невозможность саморемонтироваться.

7) Социальный робот Pepper. Робот, созданный по образу человека, распознает эмоции по голосу и мимике, отвечает на вопросы, проводит опросы и направляет посетителей. Основные места применения, это торговые центры, аэропорты, больницы. Данный робот, представленный на рис. 7, был разработан непосредственно для контакта с людьми. Его можно считать цифровым консультантом. Он оснащен планшетом для демонстрации информации. Например, в магазинах он рекомендует товары на основе анализа возраста и пола клиента, а в аэропортах указывает маршрут до нужного места в здании или консультирует по дополнительным вопросам.

В отличие от обычного сотрудника, робот может обслуживать до 200 человек в час, при этом не теряя вежливости, в то время как живой сотрудник физически не сможет сохранять концентрацию больше 4 часов. В больницах Pepper снижает тревожность пациентов на 40% [9]. В музеях робот заменяет гидов, адаптируя экскурсии под интересы посетителей. Содержание данного робота в несколько раз выгоднее содержания живых сотрудников.



Рис. 7. Социальный робот Pepper

Не смотря на все его положительные качества, его возможности ограничены: он не понимает сложные вопросы, а эмоциональные реакции – это подготовленные заранее шаблоны. Однако для рутинных задач по типу навигации или сбора данных он достаточно эффективен.

Роботы, перспективы и опасности

Рассматривая перспективы развития и использования роботов можно говорить о создании умных городов с автономным транспортом, роботов-спасателей для работы в опасных зонах, а также персонализированных помощников для пожилых людей и людей с ограниченными возможностями [10]. Роботы берут на себя задачи, угрожающие жизни человека, например, в космосе или на опасных производствах. Развитие технологий искусственного интеллекта и машинного обучения обещают сделать роботов более адаптивными, способными учиться и принимать решения в режиме реального времени.

Однако, не может быть перспектив без рисков. Автоматизация производств может привести к массовой потере рабочих мест, особенно в сферах логистики, производства и услуг, усугубляя социальное неравенство. Этические вопросы, такие как ответственность за действия автономных систем или вторжение в приватность через роботов-наблюдателей, остаются нерешенными. Существует и опасность кибератак: уязвимости в управляющих алгоритмах способны превратить роботов в инструменты для манипуляций. Кроме того, чрезмерная зависимость от технологий может снизить базовые навыки человека и создать уязвимости в критической инфраструктуре.

Заключение

Использование роботов в современном мире стало причиной глобальных трансформаций. Они в значительной степени изменили производство, повысив скорость, точность и безопасность процессов, но вместе с этим появились новые вызовы для человечества: автоматизация сократила число рабочих мест в традиционных секторах, потребовав перехода к новым профессиям и переосмысления системы образования. Однако главное значение роботов – это их способность расширять пределы человеческих возможностей. Они во много раз превосходят человека в физических возможностях, преодолевая физические ограничения, и выполняя задачи в экстремальных условиях.

Увеличение количества роботов ведет к пересмотру и дальнейшей перестройке социальных и экономических систем. С одной стороны, они решают глобальные проблемы: оптимизируют энергопотребление, помогают в ликвидации катастроф, исследуют недоступные человеку территории. С другой – их повсеместное внедрение ставит этические вопросы. Автономные системы, которые принимают решения, требуют прозрачности алгоритмов, а роботы-коллеги – пересмотра трудового законодательства. Такие проблемы, как кибератаки, утечки данных и т.д. напоминают, что прогресс должен сопровождаться ответственностью.

Роль роботов трансформировалась от примитивных механизмов до сложных систем, интегрированных в современную жизнь и науку. Каждый робот оптимизирован под свою нишу, их сила в безоши-

бочном выполнении рутинных задач, работе в опасных условиях и экономии ресурсов. Но, несмотря на это, даже самые инновационные системы на данный момент не способны полностью заменить человека там, где требуется проявление человеческих качеств и умений: креативности, эмпатии или принятия решений в непредсказуемых ситуациях.

Роботов можно назвать «мостом», на одном берегу которого человеческие амбиции и локальные задачи, а на другом физические пределы и глобальные цели. Однако их настоящее предназначение заключается не в замене человека, а в усилении его потенциала. Будущее, где роботы и люди сосуществуют, зависит от баланса: технологический рывок должен сочетаться с сохранением гуманистических ценностей, а инновации – с защитой прав и свобод [11]. Роботы – это лишь инструмент, и только от человечества зависит, станут они орудием разрушения или ключом к новой эре сотрудничества.

Список источников

1. *Бриньолфсон Э.* Машина, платформа, толпа: Наше цифровое будущее. М.: АСТ, 2018. 416 с.
2. *Липсон Х.* Жизнь с роботами: Что будет, когда машины станут умнее нас. СПб.: Питер, 2018. 320 с.
3. ИИМР Рынок промышленных роботов в мире и России: демография диктует спрос. URL: <https://worldmarketstudies.ru/article/rynok-promyslennyh-robotov-v-mire-i-rossii-demografia-diktuet-spros/> (дата обращения: 09.03.2025).
4. Automation in Volvo Cars Manufacturing. URL: <https://www.volvocars.com/innovation/production> (дата обращения: 10.03.2025).
5. Nestlé Accelerates Automation with KUKA Robots. Vevey: Nestlé S.A., 2021. 10 с.
6. *Шуц К. Х., Клафлин Дж., Думик Дж. Б.* Clinical Outcomes and Costs of Robotic-Assisted Surgery Compared with Conventional Laparoscopic Surgery in Colorectal Procedures // JAMA Surgery. 2020. С. 123–130.
7. *Васильев П. О., Кузнецова Л. Р.* Интеграция роботизированной системы «Геркулес» в автоматизированные производственные линии // Автоматизация и управление. 2021. № 4. С. 22–27.
8. *Калинин В. Р., Белова М. С.* BlueROV2 в подводной археологии: опыт применения для исследования затонувших объектов в Чёрном море // Океанология и инженерные системы. 2022. № 4. С. 45–50.
9. SoftBank Robotics. Application of Social Robot Pepper in Healthcare: A Case Study of Human-Robot Interaction in Hospitals // Робототехника и искусственный интеллект. 2021. № 4. С. 22–27.
10. *Форд М.* Роботы наступают: развитие технологий и будущее без работы. М.: Манн, Иванов и Фербер, 2016. 336 с.
11. *Бриньолфсон Э.* Вторая эра машин: Работы, прогресс и процветание в эпоху новейших технологий. М.: АСТ, 2017. 384 с.

Б. Р. Бакланов

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. М. Медунецкий – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

АНАЛИЗ ПРИВОДОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ С ТОЧНЫМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ, И ВЫБОР ПРИВОДОВ ДЛЯ КООРДИНАТНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ

Современная промышленность, медицина и наука как высокотехнологичные отрасли требуют высокой точности во всех аспектах для обеспечения прогресса в этих областях, а также повышения качества уже существующих решений. Одна из задач которая требует решения в любой высокотехнологичной отрасли, это задача точного позиционирования тех или иных рабочих органов или деталей механизмов, как для создания оборудования, так и в процессе функционирования этого оборудования и эта задача не может быть решена без использования высокоточных приводов.

Системы с точным позиционированием – это сложные системы, которые объединяют механические, электронные и программные компоненты для достижения высокой точности управления движением и позиционированием объектов. Все три аспекта важны в равной степени, но в рамках данной статьи планируется обозреть именно механическую часть системы и осветить различные приводы, используемые в системах с точным позиционированием, а также подобрать привод для координатно-распределительного устройства в роботизированной сборочной линии.

Для применения в системах с точным позиционированием привод должен удовлетворять следующим требованиям:

1. Точность позиционирования.

Высокая разрешающая способность: способность привода точно перемещаться на малые расстояния (например, микронные или нанометровые шаги).

Минимальная ошибка позиционирования: отклонение от заданного положения должно быть минимальным (часто требуется точность до долей микрона).

Повторяемость: привод должен многократно возвращаться в заданную точку с минимальными отклонениями.

2. Динамические характеристики.

Быстродействие: способность быстро достигать заданного положения (высокая скорость перемещения).

Плавность движения: отсутствие рывков и вибраций при перемещении. высокая частота обновления: возможность быстро реагировать на изменения в системе управления.

3. Надежность и долговечность.

Устойчивость к износу: привод должен сохранять свои характеристики в течение длительного времени даже при интенсивной эксплуатации.

Устойчивость к внешним воздействиям: защита от пыли, влаги, вибраций и других внешних факторов.

Минимальное техническое обслуживание: привод должен требовать минимального вмешательства для поддержания работоспособности.

4. Энергоэффективность.

Низкое энергопотребление: привод должен эффективно использовать энергию, особенно в системах с автономным питанием.

Минимальные потери на нагрев: снижение тепловыделения для предотвращения перегрева и деформации компонентов.

5. Компактность и вес.

Малые габариты: привод должен быть компактным, особенно в системах с ограниченным пространством.

Легкий вес: минимизация массы для снижения инерции и повышения быстродействия.

6. Точность и стабильность при изменении нагрузки.

Устойчивость к изменению нагрузки: привод должен сохранять точность даже при изменении массы или внешних сил.

Компенсация люфтов: минимизация механических зазоров в передаточных механизмах.

7. Температурная стабильность.

Термокомпенсация: привод должен сохранять точность при изменении температуры окружающей среды.

Минимальное тепловыделение: снижение влияния нагрева на точность позиционирования.

8. Безопасность.

Защита от перегрузок: привод должен иметь встроенные механизмы защиты от перегрева, перегрузки по току и т.д.

Аварийная остановка: возможность быстрого и безопасного останова в случае нештатной ситуации.

Для удовлетворения этих требований применяются высококачественные и дорогостоящие приводы.

Гидропривод и пневмопривод используются довольно редко, поскольку достаточно сложно при помощи них обеспечить высокую точность и соответственно в большей части систем используются различные виды электроприводов. Современный электропривод представляет собой сложный симбиоз электродвигателя, силового преобразователя тока и системы управления [1].

Наиболее часто применяемыми электроприводами являются шаговые двигатели, сервоприводы на основе как асинхронных, так и BLDC электродвигателей и линейные приводы. Рассмотрим каждый из приводов подробнее.

1. Шаговые двигатели.

Достоинства:

Высокая точность позиционирования: шаговые двигатели перемещаются на фиксированные углы (шаги), что позволяет точно контролировать положение без обратной связи.

Простота управления: управление шаговым двигателем осуществляется с помощью импульсов, что делает его относительно простым в использовании.

Низкая стоимость: шаговые двигатели обычно дешевле аналогов

Удержание позиции: двигатель может удерживать позицию без дополнительных механизмов и устройств.

Отсутствие необходимости в обратной связи: в большинстве случаев не требуется энкодер или датчик обратной связи.

Недостатки:

Ограниченная скорость: шаговые двигатели теряют момент на высоких скоростях, а также имеют ограничение по скорости (1000 об/мин) [2].

Резонанс и вибрации: на некоторых скоростях могут возникать резонансные явления, что снижает точность.

Потеря шагов: при перегрузке двигатель может пропускать шаги, что приводит к ошибкам позиционирования в случае отсутствия обратной связи.

Низкий КПД: Шаговые двигатели потребляют энергию даже в режиме удержания позиции.

2. Сервоприводы.

Достоинства:

Высокая скорость и мощность: сервоприводы способны работать на высоких скоростях и обеспечивать большой момент.

Точность с обратной связью: использование энкодера или резольвера позволяет точно контролировать положение, скорость и ускорение.

Отсутствие потери шагов: благодаря обратной связи сервоприводы не теряют позицию.

Недостатки:

Высокая стоимость: сервоприводы дороже шаговых двигателей.

Сложность управления: требуется более сложная система управления.

Необходимость обратной связи: для работы требуется энкодер или датчик положения.

Перегрев при перегрузке: сервоприводы могут перегреваться при длительных перегрузках.

3. Линейные приводы.

Достоинства:

Линейное движение: линейные приводы обеспечивают прямолинейное перемещение без необходимости преобразования вращательного движения в линейное.

Простота конструкции: в некоторых случаях линейные приводы проще в установке и использовании.

Компактность: линейные приводы часто имеют компактные размеры.

Недостатки:

Скорость и мощность: линейные приводы могут уступать сервоприводам по скорости и мощности.

Стоимость: качественные линейные приводы могут быть дорогими.

Основные параметры приведены в сравнительной табл. 1.

Таблица 1

Сравнение приводов

Характеристика	Шаговый двигатель	Сервопривод	Линейный привод
Точность	Высокая (без обратной связи)	Очень высокая (с обратной связью)	Высокая
Скорость	Низкая/средняя	Высокая	Средняя
Мощность	Средняя	Высокая	Средняя
Стоимость	Низкая	Высокая	Высокая
Сложность управления	Низкая	Высокая	Средняя
Обратная связь	Не требуется	Требуется	Зависит от конструкции

Таким образом:

Шаговые двигатели подходят для задач, где требуется точное позиционирование на низких и средних скоростях, а также при ограниченном бюджете, но имеют проблемы с возможным пропуском шагов под нагрузкой.

Сервоприводы имеют лучшие характеристики по мощности, быстродействию и точности, но наиболее дорогостоящи.

Линейные приводы идеальны для задач, где необходимо прямолинейное движение, и где важна компактность и простота конструкции, а также не предполагаются большие нагрузки.

Выбор приводов для координатно-распределительного устройства роботизированной сборочной линии

Схематичное изображение координатно-распределительного устройства (КРУ) представлено на рис. 1.

Как видно из схемы КРУ, представляет из себя поворотный стол двухуровневой конструкции, который кроме поворота каждого из уровней может линейно перемещаться по направляющим. Таким образом требуется 3 привода для обеспечения работы КРУ – два поворотных и один линейный.

Для линейного перемещения можно воспользоваться как линейным приводом, так и преобразовывать вращательное движение в линейное за счет ШВП или зубчатой рейки. Использование линейного привода позволяет уменьшить количество узлов подверженных износу и соответственно упростить обслуживание, кроме того, в принципе упрощается вся конструкция.

В случае использования привода вращения с последующим преобразованием движения в линейное встает выбор между шаговым двигателем и сервоприводом. В данном случае явным фаворитом выступает сервопривод, поскольку для функционирования КРУ требуется информация о положении поворотного стола и соответственно осуществления обратной связи по положению, поскольку возможны коллизии между поворотным столом и роботами-манипуляторами, в результате которых стол может произвольно изменить свое положение. Кроме того, механика стола имеет значительную массу

и для обеспечения прогнозируемой эксплуатации на требуемых скоростях перемещения требуется прилагать достаточный момент на достаточной скорости, для обеспечения чего требуется более громоздкий и мощный по сравнению с асинхронным, шаговый двигатель. Тем более при питании от сети переменного тока удобно использовать асинхронный двигатель в сервоприводе управляя им при помощи частотного преобразователя.

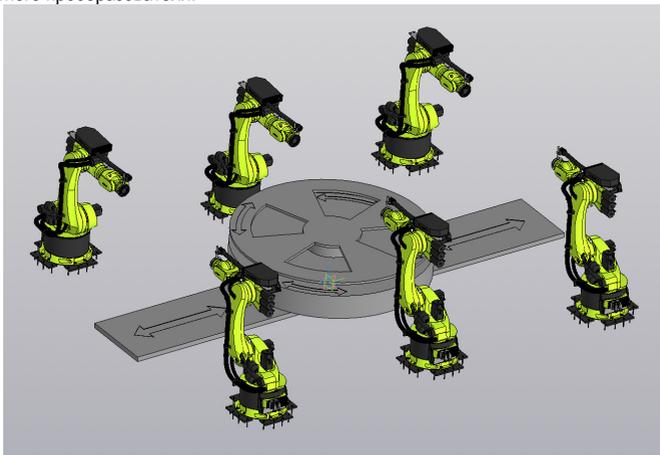


Рис. 1. Схематичное изображение КРУ

При выборе механизма преобразования вращательного движения в линейное, логично использовать один из трех наиболее часто применяемых механизмов – винтовая передача, зубчатая рейка и ремень. Винтовая передача позволяет обеспечить минимальную погрешность, кроме того, она легко реализуема и способна выдерживать значительные нагрузки. При выборе винтовой передачи наиболее предпочтительным вариантом является шарико-винтовая передача (ШВП), которая отличается высокой надежностью и долговечностью за счет низкого трения, но тем ни менее в гайке ходового винта возникает большая часть трения системы подачи [3]. Зубчатая рейка при использовании на большом ходе имеет люфт, но гораздо проще реализовать большое рабочее поле нежели при использовании ШВП, поскольку нарастить рейку из отрезков проще чем использовать единый винт нестандартной длины. Зубчатые рейки могут иметь как прямоугольное, так и косозубое исполнение. Прямозубые рейки устойчивы к загрязнениям и отличаются высокой нагрузочной способностью. Косозубые рейки обеспечивают более точное позиционирование и плавность движения, позволяют достичь высокой скорости перемещения рабочего узла [5]. Ременная передача гораздо менее дорогостоящая и более проста в установке, но имеет ряд недостатков – таких как растяжение ремня под нагрузкой на больших длинах и более быстрый по сравнению с прочими износ.

Поскольку в данном конкретном случае линейный ход поворотного стола не должен превышать 2 метра и соответственно не требуется использовать нестандартный винт для ШВП, и учитывая прочие факторы именно ШВП более удачный выбор по сравнению с зубчатой рейкой. Для обеспечения оптимального отношения скорости вращения и момента, следует применять редуктор. В данном случае оптимальным будет использование планетарного редуктора, поскольку в большом количестве производятся планетарные редукторы, выполненные в схожем с сервоприводами форм-факторе и не требующие переходных фланцев или муфт. Такие редукторы производятся в широком диапазоне передаточных отношений и имеют не критичный для данного узла люфт.

Таким образом для реализации линейного перемещения поворотного стола КРУ можно использовать как сервопривод с ШВП, так и линейный привод. Но поскольку опять-таки масса стола может играть значительную роль за счет момента инерции, преодолеть который для линейного привода

может быть проблематично, сервопривод выглядит более выигрышно. Кроме того, реализация обратной связи для линейного привода приведет к усложнению конструкции по сравнению с использованием встроенного в сервопривод энкодера.

Для осуществления вращательного движения уровней стола логично так же использовать сервоприводы с редукторами, поскольку требуется с высокой точностью позиционироваться уровни, логично использовать волновой или циклоидный редукторы с большим передаточным отношением и достаточно маломощный сервопривод. Волновой и циклоидный редукторы имеют гораздо меньший по сравнению с планетарными или другими типами редукторов люфт выходного вала (порядка 0,1–0,3%) [4], а также для сравнимого передаточного отношения меньшие размеры.

Заключение

Таким образом, для координатно-распределительного устройства в роботизированной сборочной линии были выбраны сервоприводы на основе асинхронных двигателей, с обратной связью по энкодерам. В качестве устройств передачи движения были выбраны: для линейного перемещения стола – планетарный редуктор и ШВП, для вращательного движения уровней стола – волновые или циклоидные редукторы.

Список источников

1. *Мачулин П. С.* Современные проблемы разработки электропривода // Молодой ученый. 2016. № 10 (114). С. 273–275. URL: <https://moluch.ru/archive/114/30193/> (дата обращения: 13.03.2025).
2. *Мамелина А. С.* Обзор модульных приводов для робототехнических систем // Научные исследования и инновации. 2021.
3. Точность в системах приводов. URL: <https://darxton.ru/wiki-article/tochnost-v-sistemakh-privodov/> (дата обращения: 13.03.2025).
4. Эмпирические принципы, правила, законы для Промышленной Робототехники и мехатроники. URL: <https://inner.su/services/empiricheskie-principy-v-robototekhnike-i-mekhatronike/> (дата обращения: 13.03.2025).
5. *Стрельцов Н. А.* О выборе шагового привода для манипулятора типа рука-робот // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество». 2015.
6. Точность в системах приводов. URL: <https://darxton.ru/wiki-article/tochnost-v-sistemakh-privodov/> (дата обращения: 13.03.2025).

УДК 378.147

С. А. Баландюк

студент кафедры электромеханики и робототехники

С. А. Сериков – профессор, доктор технических наук, доцент – научный руководитель**РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАСЫПАНИЯ ВОДИТЕЛЯ
ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА****Введение**

Усталость и засыпание водителей являются серьезной угрозой безопасности дорожного движения. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), от 10 до 20% дорожно-транспортных происшествий вызваны именно этой причиной. Для водителей, проводящих за рулем долгие часы, риск засыпания возрастает в разы, что приводит к трагическим последствиям.

Современные системы помощи водителям, такие как системы контроля полосы движения и автоматического торможения, существенно повышают безопасность, но они не всегда учитывают человеческий фактор, в частности состояние самого водителя. Таким образом, существует потребность в разработке решений, направленных на предупреждение засыпания водителя еще до того, как это приведет к аварии.

Цель данного исследования – анализ существующих технологий и разработка интеллектуальной системы предупреждения засыпания водителя, которая сочетает в себе доступность, эффективность и возможность адаптации к различным условиям эксплуатации.

Актуальность темы обусловлена ростом объемов автомобильных перевозок, увеличением плотности дорожного движения и стремлением минимизировать человеческие ошибки, которые остаются основной причиной аварий. Предлагаемая работа направлена на создание системы, которая сможет снизить количество ДТП, повысив уровень безопасности для всех участников дорожного движения.

Обзор существующих решений

На сегодняшний день проблема предупреждения засыпания водителя решается с помощью различных технологий, которые можно разделить на несколько основных категорий: биометрические методы, системы компьютерного зрения, сенсоры поведения водителя и вспомогательные системы оповещения.

Биометрические методы

Биометрические системы отслеживают физиологические параметры водителя, такие как частота сердечных сокращений (ЧСС), кожно-гальваническая реакция и электромиография [1]. Для анализа этих данных часто используются носимые устройства, например, умные браслеты. Такие системы эффективно выявляют состояние усталости благодаря точным измерениям. Однако их использование сопряжено с необходимостью постоянного контакта устройства с телом водителя, что может вызывать дискомфорт и снижать удобство применения в реальных условиях эксплуатации.

Системы компьютерного зрения

Камеры, встроенные в салон автомобиля, используются для мониторинга состояния водителя в режиме реального времени. Технологии компьютерного зрения позволяют анализировать положение головы, частоту морганий и направление взгляда. Примером является система, описанные в работе [2]. Использование алгоритмов глубокого обучения повышает точность обнаружения, особенно при учете комплексных визуальных характеристик. Однако такие системы остаются уязвимыми к внешним факторам, например, низкой освещенности или помехам от аксессуаров, таких как очки. Эти ограничения подчеркивают необходимость дальнейшей оптимизации.

Системы анализа поведения водителя

Некоторые системы отслеживают изменения в поведении водителя, например, отклонения автомобиля от полосы движения или резкие движения рулевого колеса. Одним из примеров является технология Attention Assist от Mercedes-Benz, которая оценивает стиль вождения на начальных этапах

поездки и анализирует его отклонения по мере накопления усталости. Несмотря на свою простоту, такие методы часто реагируют только на уже проявившуюся усталость.

Вспомогательные системы оповещения

Эти решения включают вибрационные сиденья, звуковые сигналы или визуальные индикаторы, активируемые при обнаружении признаков усталости. Такие системы, как Driver Alert Control от Volvo, направлены на привлечение внимания водителя. Однако их эффективность зависит от своевременного обнаружения признаков усталости, что делает их зависимыми от работы других компонентов.

Описание собственной интеллектуальной системы предотвращения засыпания водителя транспортного средства

На основании анализа существующих решений предлагается интеллектуальная система предупреждения засыпания водителя, которая объединяет преимущества различных подходов. Данная система состоит из трех ключевых компонентов:

1. Камера, анализирующая лицо водителя

Камера предназначена для мониторинга состояния лица водителя и анализа его поведения. Основные задачи:

- Анализ частоты морганий. Уменьшение частоты морганий чаще всего указывает на сонливость водителя.
- Отслеживание положения головы. Наклон головы или закрытые глаза – признаки усталости.
- Направление взгляда. Потеря внимания фиксируется через отклонение взгляда от дороги.

Используемая камера – инфракрасная, что позволяет получать стабильное изображение даже при недостаточном освещении, например, ночью. Видео в режиме реального времени передается на сервер, который подключен к камере через USB-порт. Таким образом, обработка и анализ изображений производится локально на сервере, что позволяет избежать необходимости в интернет-подключении. Такой подход особенно актуален при передвижении по участкам маршрута, на которых отсутствует интернет-соединение.

Преимущества использования камеры заключаются в ее способности обеспечивать непрерывный мониторинг состояния водителя без необходимости его активного участия. Инфракрасные камеры стабильно работают как днем, так и ночью, что особенно важно для длительных поездок. Технологии компьютерного зрения позволяют фиксировать мельчайшие изменения в моргании и выражении лица, предоставляя точные данные для анализа усталости. Камера легко интегрируется с другими компонентами системы, создавая комплексный подход к обнаружению сонливости. Кроме того, доступность таких камер делает их экономически выгодным решением для реализации подобных систем.

Умный браслет для мониторинга физиологических данных

Умный браслет играет ключевую роль в системе, предоставляя информацию о физиологических параметрах водителя, таких как частота сердечных сокращений (ЧСС), уровень стресса и кожно-гальваническая реакция. Эти данные являются важными индикаторами состояния усталости и эмоционального напряжения. Браслет передает данные на центральный сервер каждые 5 секунд, используя Bluetooth API в формате JSON. Это позволяет обеспечить непрерывный мониторинг и своевременное выявление потенциальных признаков засыпания.

Кроме основных функций, браслет обладает высокой мобильностью, что делает его подходящим для применения в разных транспортных средствах. Благодаря эргономичному дизайну и легкости использования браслет не отвлекает водителя от управления. При этом он способен фиксировать даже минимальные изменения физиологического состояния, что повышает точность оценки уровня усталости.

Таким образом использование браслета имеет следующие преимущества:

- Удобный и ненавязчивый способ мониторинга, не отвлекающий водителя.

- Оснащен мощной сенсорной базой (например, для измерения частоты сердечных сокращений и уровня стресса).
- Поддержка открытых API, что упрощает интеграцию с центральным сервером.
- Данные с браслета дополняют анализ камеры, повышая общую точность системы.
- Доступность и относительно низкая стоимость делают браслет экономически выгодным компонентом системы.

Данные с браслета особенно ценны в случаях, когда визуальный анализ лица, проводимый камерой, затруднен из-за условий освещения или других внешних факторов.

Современные модели, такие как Xiaomi Mi Band, поддерживают широкий спектр функций и интеграцию с внешними приложениями, что упрощает разработку системы. Кроме того, их невысокая стоимость делает систему более доступной для массового применения, что важно в контексте ее использования на дорогах общего пользования.

2. Центральный сервер

Центральный сервер выполняет роль аналитического ядра системы, обрабатывая данные, поступающие от камеры и умного браслета. Основная функция сервера – это анализ полученной информации с использованием заранее обученной модели машинного обучения и вынесение решений о состоянии водителя. Сервер интегрирует данные, поступающие из разных источников, и, на основе их обработки, генерирует сигналы предупреждения при обнаружении признаков усталости.

Сервер принимает данные от камеры через USB-подключение и от браслета через Bluetooth API. Для этого сервер реализует:

- Модуль получения данных. Камера передает потоковое видео или изображения на сервер, где данные предварительно обрабатываются (например, извлекаются ключевые точки лица). А браслет передает физиологические параметры в формате JSON, которые затем структурируются для последующего анализа.
- Обработка данных. Используется обученная модель машинного обучения, загруженная в библиотеку TensorFlow [3]. Модель анализирует изменения физиологических данных и визуальных признаков усталости.
- Генерация предупреждений. При выявлении состояния, свидетельствующего об усталости, сервер отправляет сигнал на устройства оповещения в автомобиле, такие как звуковой сигнал или вибрация сиденья.

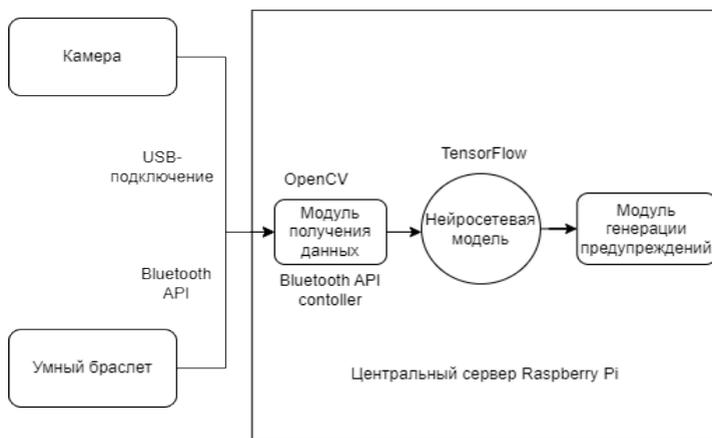


Рис. 1. Структурная схема предложенной интеллектуальной модели

Центральный сервер объединяет данные, поступающие от периферийных устройств, и обеспечивает их комплексный анализ. Это позволяет интегрировать информацию, полученную от камеры и умного браслета, в единое решение. Такой подход исключает разрозненность данных, делая систему более надежной. Обработка данных на сервере позволяет использовать сложные алгоритмы машинного обучения, которые невозможно реализовать на периферийных устройствах из-за их ограниченных вычислительных ресурсов.

Кроме того, централизованный сервер легко адаптировать к новым требованиям. Например, его можно настроить для работы с дополнительными источниками данных или модернизировать, используя обновленные модели машинного обучения. Это делает систему гибкой и способной к дальнейшему развитию.

Также центральный сервер минимизирует нагрузку на периферийные устройства. Камера и браслет выполняют исключительно функции сбора данных, а все вычислительные операции, требующие значительных ресурсов, сосредоточены на сервере. Это снижает требования к аппаратной части сенсоров и делает систему более экономичной.

В качестве сервера в системе используется микрокомпьютер Raspberry Pi 5 [4], который обеспечивает достаточную производительность для работы с нейронными сетями и обработки потоковых данных в реальном времени.

Структурная схема предложенной выше системы приведена на рис. 1.

Заключение

В ходе разработки системы предупреждения засыпания водителя была предложена многоуровневая архитектура, сочетающая использование камеры для анализа лицезвых признаков и умного браслета для мониторинга физиологических параметров. Центральным элементом системы выступает сервер на базе Raspberry Pi, обеспечивающий интеграцию данных, их обработку с использованием обученной модели и оперативное оповещение водителя.

Предложенное решение отличается высокой адаптивностью, доступностью и возможностью дальнейшей модернизации. Такая система повышает безопасность дорожного движения, сочетая технологическую эффективность и экономичность.

Список источников

1. Advancements in the Intelligent Detection of Driver Fatigue and Distraction: A Comprehensive Review / Y. Zhenhua, Y. Ma, L. Zhenfeng // Application of AI Technology in Intelligent Vehicles and Driving. 2024. P.180–191.
2. Fatigue Driving Detection Based on Facial Features / X. Liang, Y. Shi, X. Zhan // Proceedings of the 6th International Conference on Information Technology: IoT and Smart City. 2018. P. 56–63.
3. TensorFlow. Documentation. Guide. URL: <https://www.tensorflow.org/guide> (дата обращения: 25.11.2024).
4. Raspberry Pi. Documentation. URL: <https://www.raspberrypi.com/documentation/> (дата обращения: 14.11.2024).

УДК 621.9.06

С. Е. Биркле

студент кафедры электромеханики и робототехники

Н. В. Савельев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ****Введение**

Развитие направления в сфере робототехнических систем не прерывалось с момента появления данного направления. Сперва это были простые робототехнические системы выполняющие простейшие операции, в дальнейшем, с развитием микропроцессорных устройств, робототехнические системы становятся все более сложными, но при этом с возможностью выполнения более сложных задач.

Можно сказать, что с появлением новых технологий робототехнические системы с каждым годом становятся все более наполненными не только по внутреннему строению, новые разработки в области микропроцессорных устройств, датчиков, двигателей и т. п., но и разнообразнее по кинематическому исполнению. При этом интенсивность новых разработок с каждым годом только возрастает, появляются не только новые технологии, позволяющие улучшить существующие робототехнические системы, но и появляются новые которые позволяют создавать новые робототехнические системы.

В связи с этим возникает необходимость в усовершенствовании старых и создании новых систем управления позволяющих эффективно управлять робототехническими системами. Одним из таких направлений является создание эффективной системы для управления наземным мобильным роботом.

Целью данной статьи является рассмотрение и анализ существующих систем координат для наземных мобильных роботов, с обоснованием выбора.

Теоретическая основа

Одним из важнейших аспектов является выбор подходящей системы координат, в которой будет проводиться навигация и управление движением робота. Существуют основные типы систем координат: прямоугольная (декартова), полярная, локальная, глобальная, цилиндрическая, сферическая, которые позволяют осуществлять навигацию мобильным роботом.

1. Прямоугольная (декартова) система координат. Это наиболее распространенная система, основанная на двух (2D) или трех (3D) взаимно перпендикулярных осях (X, Y и Z). В этой системе координаты робота задаются как расстояния от начальной точки (начала координат) по этим осям.

2. Полярная система координат. В полярной системе координаты робота описываются через угол (относительно фиксированной оси) и радиус (расстояние от центра). Этот способ часто используется в задачах, где важна ориентация и движение по круговой траектории.

3. Система координат робота (локальная система). Это система, привязанная непосредственно к самому роботу. В этой системе координаты задаются относительно начальной точки робота, и оси обычно ориентированы так, что одна из них направлена вдоль направления движения. Эта система удобна для локальных вычислений и управления.

4. Система координат мировая (глобальная). Это система, в которой все объекты, включая робота, позиционируются относительно фиксированной внешней точки или области (например, в условиях местности). Она используется для масштабной навигации в более широких пространствах, когда требуется взаимодействие с другими объектами в окружающей среде.

5. Цилиндрическая система координат. Эта система является комбинацией прямоугольной и полярной. В ней робот определяется через два параметра (угол и радиус) и высоту. Часто используется в задачах, связанных с вертикальным перемещением или с движением по сложным траекториям.

6. Сферическая система координат. Здесь положение объекта определяется через три параметра: радиус (расстояние до центра), полярный угол и азимутальный угол. Эта система применяется для задач, где движение происходит в трехмерном пространстве, например, в авиации или подводной навигации.

Прямоугольная система координат (или декартова система координат) является наиболее распространенной и понятной для реализации в роботизированных системах. Эта система используется для описания перемещений робота в двумерном пространстве, где координаты x и y определяют положение робота, а угол поворота « θ » характеризует его ориентацию.

1. Прямоугольная система координат в робототехнике

Прямоугольная система координат является одной из самых распространенных в робототехнике, так как она предоставляет простое и удобное описание движений в двумерном пространстве. Основными элементами прямоугольной системы являются две оси, обычно обозначаемые как оси x и y , перпендикулярные друг другу. Положение объекта в этой системе координат может быть задано как пара чисел (x, y) где « x » – это координата по оси абсцисс, а « y » – по оси ординат. В мобильных роботах дополнительным параметром является угол поворота робота « θ », который определяет его ориентацию относительно оси x .

Использование прямоугольной системы координат позволяет упростить задачи планирования траектории робота, поскольку в данной системе движения робота по прямой или по угловым траекториям описываются простыми математическими выражениями. В случае планирования движений в сложных условиях (например, с препятствиями) эта система координат позволяет применять различные алгоритмы поиска пути, такие как алгоритм A^* , или методы, основанные на случайных деревьях поиска (RRT).

Прямоугольная система координат позволяет четко описывать взаимное расположение объектов в пространстве, что важно при проектировании навигационных систем роботов, ориентированных на выполнение конкретных задач, например, доставки или уборки.

2. Система управления роботом в прямоугольной системе координат

Система управления мобильным роботом с прямоугольной системой координат должна решать несколько важных задач: определение текущего положения робота, планирование траектории его движения, а также корректировка движений в реальном времени с учетом возможных ошибок и изменений в окружающей среде. Одним из ключевых моментов является корректное управление ориентацией робота, которое может осуществляться с помощью различных алгоритмов.

2.1. Определение положения робота

Для того чтобы робот мог двигаться в пространстве, необходимо точно знать его положение. В идеале это положение определяется как тройка чисел (x, y, θ) , где x и y – координаты в прямоугольной системе координат, а θ – угол поворота робота относительно оси x . Для этого используются различные датчики и системы отслеживания, такие как инклинометры, гироскопы, а также датчики расстояния (например, лидары или ультразвуковые сенсоры).

Однако точное определение положения может быть затруднено из-за погрешностей измерений, вызванных шумом датчиков или накоплением ошибок в системе. Для компенсации этих ошибок часто используются методы, такие как фильтрация Калмана, которая позволяет интегрировать данные с различных сенсоров и предсказать положение робота с учетом возможных отклонений.

2.2. Планирование траектории

Одной из центральных задач системы управления является планирование траектории движения робота. В прямоугольной системе координат траектория может быть представлена в виде последовательности точек, через которые должен пройти робот. Эти точки могут быть вычислены с использованием различных алгоритмов поиска пути.

Существует множество видов алгоритмов: алгоритм A^* (A-star), алгоритм Дейкстры, алгоритм жадного поиска (Greedy Best-First Search), алгоритм BFS (поиск в ширину), алгоритм RRT (Rapidly-exploring Random Tree).

Одним из самых популярных алгоритмов планирования пути является алгоритм A^* , который позволяет найти кратчайший путь от начальной точки до целевой, минимизируя затраты на перемещение. Алгоритм A^* работает на основе оценки стоимости пути и его возможных вариантов, выбирая на каждом шаге оптимальное направление. В простых случаях, когда робот движется по сетке, эта задача

решается быстро и эффективно. Однако в реальных условиях, когда необходимо учитывать препятствия и сложные участки, используются более сложные алгоритмы, такие как *RRT (Rapidly-exploring Random Tree)*, который строит дерево поиска путей с случайными узлами.

Для задач с динамическими препятствиями могут применяться методы, основанные на *динамическом программировании*, которые позволяют пересчитывать пути в реальном времени с учетом изменений в окружающей среде [1].

2.3. Контроль движений робота

После того как траектория была спланирована, важно обеспечить точное следование робота заданному пути. Для этого применяется система управления с обратной связью. Одним из самых распространенных методов является использование PID-регуляторов, которые корректируют движения робота в зависимости от отклонений от заданного пути.

Система PID-регулирования состоит из трех частей: пропорциональной, интегральной и дифференциальной. Каждая из этих частей отвечает за корректировку ошибок, основанных на текущем отклонении, накопленных ошибках и темпах изменения ошибки. Это позволяет роботу точно следовать траектории, компенсируя возможные ошибки, вызванные внешними воздействиями.

Кроме того, для более сложных задач и движений может применяться адаптивное управление, которое изменяет параметры регулирования в зависимости от текущих условий, таких как изменение скорости или обнаружение новых препятствий [2].

3. Применение прямоугольной системы координат в реальных системах

Роботы, использующие прямоугольную систему координат, находят применение в различных сферах: от автономных транспортных средств до сервисных роботов в складах и магазинах. Например, в логистике часто используются роботы, которые перемещаются по заранее подготовленным путям с учетом прямоугольной сетки, где каждое перемещение между точками маршрута планируется с использованием алгоритмов A^* или других методов поиска пути.

Прямоугольная система координат также применяется в автономных мобильных платформах, которые должны перемещаться в условиях с ограниченным пространством или сложными препятствиями. Для таких систем часто используются комбинации различных алгоритмов: например, A^* , для глобального планирования пути и PID-регуляторы для точного следования траектории.

В условиях складов и производственных помещений важным аспектом является способность робота адаптироваться к изменяющимся условиям. Для этого применяется система онлайн-коррекции траектории, которая обновляет путь в реальном времени с учетом изменений в окружающей среде, таких как перемещение объектов или появление новых препятствий [3].

4. Проблемы и перспективы развития

Несмотря на широкое использование прямоугольной системы координат в робототехнике, существует ряд проблем, которые требуют дальнейших исследований и разработок. Одной из главных проблем является ошибка позиционирования, которая возникает из-за накопления погрешностей датчиков или недостаточной точности алгоритмов планирования пути. Для решения этой проблемы в последние годы активно разрабатываются адаптивные методы управления, которые могут автоматически корректировать движения робота в зависимости от текущих условий и ошибок.

Другой проблемой является планирование пути в динамической среде, где необходимо учитывать не только статические препятствия, но и перемещающиеся объекты. В этом контексте важным направлением является использование методов машинного обучения для адаптации и предсказания изменений в окружающей среде.

Заключение

Система управления роботом, использующая прямоугольную систему координат, является важным инструментом для разработки мобильных роботов, которые могут точно и эффективно перемещаться по заданной траектории. Несмотря на свою простоту и удобство, эта система требует использования сложных алгоритмов для решения задач планирования пути, управления движением и коррек-

ции ошибок. В будущем развитие таких технологий будет связано с улучшением методов планирования пути, адаптивности и точности позиционирования роботов в реальных условиях.

Список источников

1. *Кочергин А. И., Бабак Т. Н.* Анализ конструкции промышленного робота. 2021.
2. *Гейшерик В. С.* Способ контроля качества воспроизведения программы движения робота-манипулятора и устройство для его осуществления. 1988.
3. *Шахворостов С. А.* Роботы в системах автоматизации: учеб. пособие. 2016.
4. *Булатбаева Ю. Ф., Жамелов Ж. Ж.* Применение PID регуляторов в мобильных роботах. 2023.

УДК 629.7.05

К. Г. Вашуров

аспирант кафедры электромеханики и робототехники

А. Г. Воронцов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ

С развитием микроэлектроники, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в последнее время находят широкое применение в различных областях науки и техники. Особенно распространено использование четырехроторных БПЛА (квадрокоптеров), ввиду их компактности, маневренности и относительной несложности контроля. Квадрокоптер имеет 6 степеней свободы: три поступательные и три вращательные. Для описания поступательного движения используется инерциальная система отсчета, для вращательного – система отсчета, связанная с корпусом аппарата. Квадрокоптерный летающий робот также состоит из четырех роторов, которые должны быть соответствующим образом управляемы для поддержания устойчивости полета и управления ориентации [1].

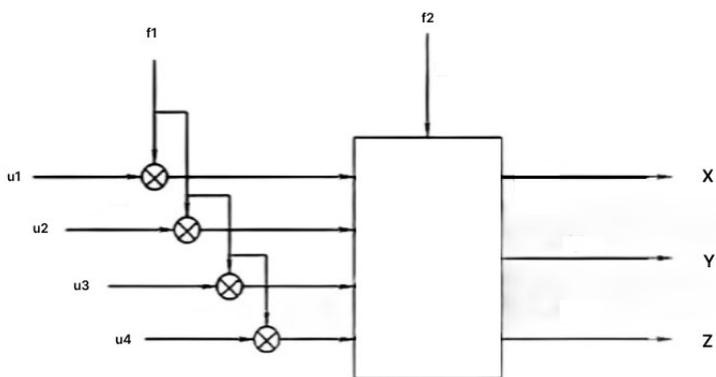


Рис. 1. Структурная схема квадрокоптера как объекта управления

Таким образом, возникает задача разработки системы управления, позволяющей осуществлять автономный полет квадрокоптера по заданному маршруту. В настоящей работе исследуются возможности использования для решения данной задачи алгоритмов стабилизации, построенных на классических принципах, в том числе – на основе ПИД-регулятора. ПИД-регулятор представляет собой математический алгоритм, который регулирует поведение системы по принципу обратной связи. Настройка ПИД-регулирования в квадрокоптере является важным шагом для обеспечения его стабильности, точности управления и поддержания желаемой ориентации в пространстве, учитывая фактическую ориентацию и возмущения, такие как ветер или турбулентность [2].

Квадрокоптер включает несколько ключевых компонентов, без которых стабильный полет не может быть осуществлен. В первую очередь, это полетный контроллер, который обрабатывает всю полученную информацию и преобразует ее в сигналы для двигателей. Контроллер обычно принимает входные данные в виде цифровых сигналов с широтно-импульсной модуляцией. Для обеспечения полноценной ориентации в воздухе достаточно четырех каналов: управление газом, рысканием, тангажем и креном.

Реальный объект управления, как правило, представляет собой физическое устройство, оснащенное датчиками. Взаимодействие с датчиками преимущественно осуществляется через цифровой

протокол обмена данными. Таким образом, чаще всего в реальной жизни от объекта управления принимается массив байт, которые необходимо интерпретировать в соответствии с форматом протокола. На основе этих данных контроллер автоматически корректирует выходной сигнал. Затем сигнал обрабатывается так, чтобы на выходе получались напряжения, пропорциональные скорости каждого из четырех винтов. Обработанный сигнал передается на ПИД-регулятор, который управляет сигналом, подавая его непосредственно на двигатель [3].

В данной работе мы реализуем средствами фреймворка QT систему управления квадрокоптером, а также, получив данные с объекта управления (модели квадрокоптера), на их основе, с помощью метода наименьших квадратов, идентифицируем параметры объекта и построим регулятор в среде MATLAB/Simulink [4].

Начнем с разработки модели объекта управления на языке C++. Создадим класс MyController, который будет наследоваться от метода QObject и обрабатывать входящие данные от предполагаемых внешних источников и записывать результаты в лог-файл. Каждый раз, когда объект управления испускает с гнал об изменении состояния, подключенный слот будет запускаться.

```
QObject::connect(&engine, &QObject::objectCreated,
    &app, [url](QObject *obj, const QUrl &objUrl) {
    if (obj && url == objUrl)
    QCoreApplication::exit(-1);
    }, Qt::QueuedConnection);
```

Данные с объекта управления приходят в виде массива байтов QByteArray. Каждое сообщение содержит стартовый байт, тип команды, непосредственно сами данные и проверочную сумму.

```
void MyController::process(QByteArray data)
{
    qDebug() << data.toHex(" ");
    if (time == 0) {
        time = QDateTime::currentMSecsSinceEpoch();
    }
    float* ptr = reinterpret_cast<float*>(data.data() + 2);
    float* ptr2 = reinterpret_cast<float*>(data.data() + 6);
    char crc = 0x00;
    for (int i = 0; i < 11; ++i) {
        crc += *(data.data() + i);
    }

    time1 = data(1, 1);
    time = data(:,1); %time
    output = data(:,2); %output
    input = data(:,3); %input
    reference = data(:,4); %reference

    u1 = input(1:end-10); % входные данные
    y_original = output(1:end-10); % выходные данные
    zero_time = (time - time1) / 1000;

    fs = 50; % частота дискретизации
    fpass = 3; % полоса пропускания
    h = 1 / fs; % размер шага

    y_filtered = lowpass(y_original, fpass, fs); % фильтруем выход
    v = diff(y_filtered)/h; % получаем скорость
    a = diff(v)/h; % получаем ускорение

    time_final = zero_time(1:2001);
    y_final = y_filtered(1:2001);
    u_final = u1(1:2001);
    v_final = v(1:2001);
    a_final = a(1:2001);
```

Рис. 2. Загрузка и обработка данных в MatLab

Для последующей обработки данных в программной среде Matlab необходимо настроить сохранение логов. Для этого используется QFile и QTextStream, позволяющие осуществлять запись данных в текстовом виде.

Напишем скрипт в среде Matlab для чтения сохраненного лога с использованием fileread, strsplit, str2double. Для проверки правильности отобразим данные и сравним с тем, что было отображено в программе при записи лога.

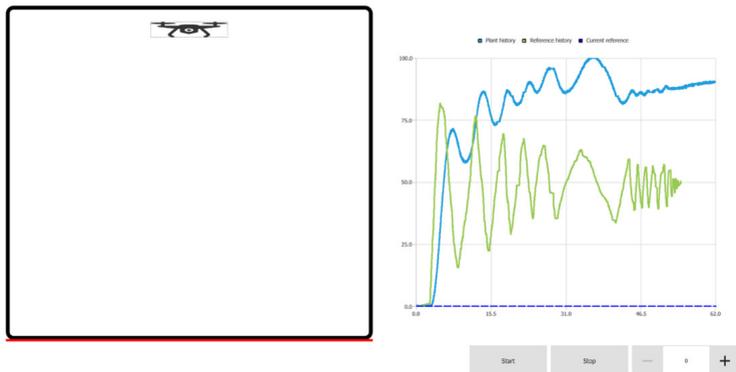


Рис. 3. Данные, полученные при записи лога в среде Qt

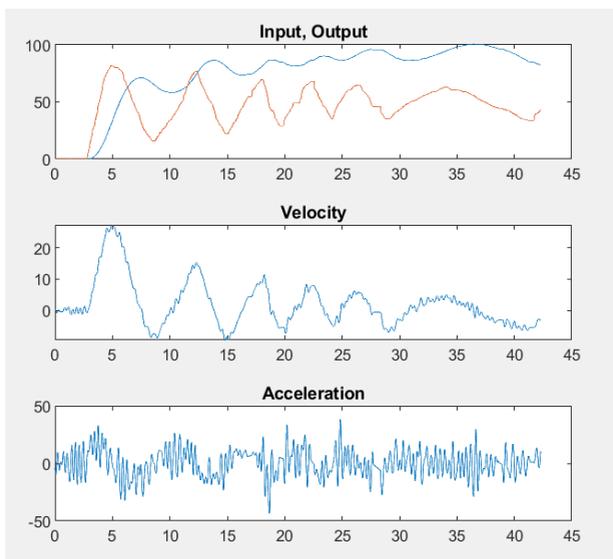


Рис. 4. Данные, полученные после чтения и обработки средой MatLab (вход, выход системы, скорость, ускорение квадрокоптера)

Идентифицируем параметры объекта управления с использованием метода наименьших квадратов. Для этого проведем численное дифференцирование сигналов для получения значений скорости и

ускорений. Предварительно данные отфильтруем с использованием функции lowpass и рассчитаем значение частоты среза для фильтра низких частот.

Для получения корректных параметров зададим вход объекта управления с использованием подготовленной функции, содержащей как можно больше гармоник.

```
Phi = [v_final, y_final, -u_final];
A = -a_final;
C = pinv(Phi) * A;

a1 = C(1);
a0 = C(2);
b0 = C(3);

disp('Коэффициенты:')
disp(['a1 = ', num2str(a1)])
disp(['a0 = ', num2str(a0)])
disp(['b0 = ', num2str(b0)])
```

Рис. 5. Коэффициенты передаточной функции, найденные методом наименьших квадратов

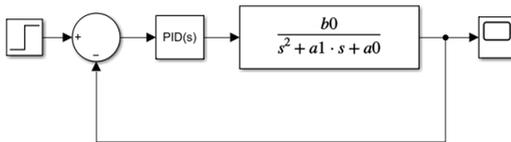


Рис. 6. Схема моделирования объекта управления с ПИД-регулятором в Simulink

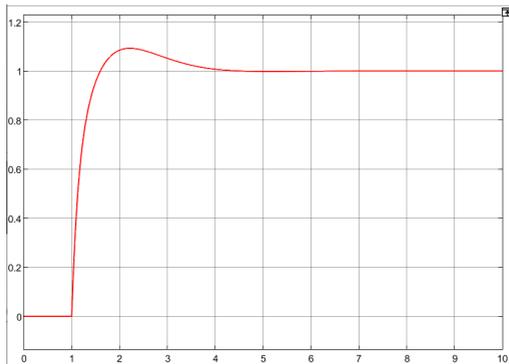


Рис. 7. Переходная характеристика полученной модели объекта управления

Таким образом, в данной работе мы осуществили задачу разработки системы управления. Синтезированная система позволяет осуществлять автономный полет квадрокоптера по заданному маршруту. В качестве развития объекта исследования предлагается разработка ПИД-регулятора в формате программного кода на языке С++ и модификация системы для регулирования работы квадрокоптера по данным, поступающим с большего числа каналов управления (крен, тангаж, рыскание и т.д.).

Список источников

1. *Иванов Д. Я.* Пространственные формации в группах беспилотных летательных аппаратов // *Материалы конференции «управление в технических, эргатических, организационных и сетевых системах» (УТЭОСС-2012)*. СПб.: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2012. С. 1226–1229.
2. *Соколов В. Б., Теряев Е. Д.* Беспилотные летательные аппараты: некоторые вопросы развития и применения (обзор по материалам публикаций в Интернете) // *Мехатроника. Автоматизация. Управление*. 2008 № 2. С. 12–23.
3. *Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах / Д. А. Белоглазов и др.* М.: Физматлит, 2015. 304 с.
4. *Тищенко М. А., Некрасов А. С.* Вертолеты. Машиностроение. М.: Машиностроение, 1976. 366 с.

УДК 629.58

О. С. Волик

студент кафедры электромеханики и робототехники

Е. А. Орлова – ассистент – научный руководитель

АВТОНОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ: СОСТОЯНИЕ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

В Российской Федерации активно разрабатываются и применяются передовые автономные обитаемые подводные аппараты (АНПА), представляющие собой одно из наиболее перспективных направлений развития техники. Эти высокотехнологичные устройства способны решать разнообразные задачи в морских глубинах.

Подводные роботы широко используются для исследования морей и океанов. В основе функционирования АНПА лежит способность к автономной работе, которая минимизирует необходимость в непосредственном контроле со стороны человека. Благодаря тому, что подводные аппараты оборудованы навигационными и управляющими системами, они способны самостоятельно выполнять запрограммированные задачи, исследовать удаленные и опасные участки подводных глубин, находить новые месторождения полезных ископаемых, проводить мониторинг и собирать данные об окружающей среде. Эти роботы играют важную роль в научных исследованиях, поскольку позволяют избегать риска, связанного с жизнью людей, и существенно повышают продуктивность проводимых работ.

Значительное внимание уделяется применению автономных подводных роботов в оборонных целях. Россия активно развивает и внедряет подобные технологии для обеспечения безопасности своих границ и контроля морских акваторий. Подводные роботы могут выполнять разведывательные задачи, контролировать и обнаруживать подводные объекты, искать и нейтрализовывать мины и торпеды противника, а также участвовать в боевых действиях на больших глубинах. Важнейшим преимуществом является их скрытность. Благодаря возможности работы в бесшумном режиме АНПА являются незаменимыми для проведения секретных операций. Кроме того, подводные роботы, как правило, оснащены современным сенсорным оборудованием, позволяющим эффективно выявлять и анализировать сигналы из окружающей среды.

На сегодняшний день, АНПА применяются только для совершения бесконтактных работ, перечисленных выше. Ввиду особенностей производственных циклов, большая доля операций по обустройству, поддержке и функционированию подводных объектов инфраструктуры по-прежнему осуществляется с помощью телеуправляемых обитаемых подводных аппаратов (ТНПА). Их основными преимуществами перед АНПА являются возможность контроля оператора на всех этапах технологических процессов и применение более широкого набора инструментов, требующих супервизорного управления.

Актуальность развития автономных аппаратов состоит в том, что применение телеуправляемых имеет ряд ограничений. Для работы ТНПА необходима связь с судном по кабельной линии. Ее наличие ограничивает дальность и диапазон глубин, охватываемых аппаратом. Устраняется возможность проведения работ в труднодоступных местах. Возникает необходимость ориентироваться на погодные условия. Кроме этого, необходимость привлечения судна значительно увеличивает стоимость применения телеуправляемых аппаратов. Расширение функций АНПА – необходимость, побуждающая конструкторов искать возможности для реализации новых технологических решений.

Тенденции развития АНПА

1. Гибридизация

В научном сообществе предлагаются идеи создания многоцелевого гибридного подводного аппарата, сочетающего в себе свойства, присущие как АНПА, так и ТНПА. Оптимальным решением является разработка подобного робота на базе существующей технологической платформы автономных аппаратов. Необходимые конструктивные изменения и технологические усовершенствования автоном-

ных аппаратов, которые дополнительно оснащаются системами и устройствами для осуществления контактных операций на объектах, будут зависеть от конкретных задач и условий эксплуатации.

Идеи гибридации такого рода существуют уже достаточно длительный период. В опубликованных источниках можно найти информацию о разработке multifunctionальных гибридных комплексов.

Multifunctionальный гибридный комплекс способен выполнять задачи в автономном режиме, но при необходимости переходить в режим телеуправления. Такой переход может осуществляться двумя способами:

- подъем АНПА на поверхность воды (по аналогии с непогружным носителем);
- выпуск буйа с передающим устройством на поверхность воды.

Подводный роботизированный комплекс (ПРК) *Swimmer*, разработанный компанией *Cybernetix Group*, является наиболее близкой практической реализацией данной идеи [1]. *Swimmer* включает в себя три элемента: телеуправляемый подводный аппарат (ТПА), автономный обитаемый подводный аппарат, выполняющий роль транспорта для ТПА, и донная платформа. В этой системе АНПА служит исключительно для доставки ТПА к донной платформе. Функционирование системы начинается после соединения АНПА-транспортёрщика с платформой и возможно лишь в режиме телеуправления. Очевидно, что наличие стационарной донной платформы значительно уменьшает область применения ТПА и функциональные возможности всей системы в целом. Данный ПРК был протестирован в 2001 году.

В патенте, выданном компании *Elta Systems Ltd.* [2], представлено описание комплекса для нейтрализации мин, представляющего комбинацию АНПА и ТПА. В отличие от подводного роботизированного комплекса *Swimmer*, в данном патенте автономный обитаемый подводный аппарат выполняет не только роль перевозчика для телеуправляемого подводного аппарата, но и самостоятельно обнаруживает подозрительные объекты. Коммуникация с оператором обеспечивается посредством буйа, оснащенного приемо-передатчиком, выводящимся на поверхность воды. Патент получил регистрацию в 2016 году.

Гибридные подводные роботизированные комплексы на основе АНПА потенциально не имеют недостатков, свойственных другим гибридным ПРК [3].

В 2024 году А. Коноплин объявил, что сотрудники Института проблем морских технологий имени академика М. Д. Агеева ДВО РАН разрабатывают гибридные обитаемые глубоководные аппараты. Они будут оснащены гидроакустической связью и системами диалогового управления, что позволит аппаратам, работая в автономном режиме, получать команды от оператора и совершать контактные работы. Одной из ключевых особенностей новых аппаратов является возможность использования буксируемых буй-ретрансляторов, что устраняет необходимость в тяжелых лебедках и позволяет интегрировать их в комплексные экспедиции с другим оборудованием для океанологических исследований [4].

2. Повышение энергоэффективности

Одним из главных направлений, проблемы улучшения показателей в котором никогда не перестанут быть актуальными, является увеличение времени автономной работы. Разрабатываются новые способы повышения энергоэффективности.

Одним из методов экономии электроэнергии для автономного обитаемого подводного аппарата, оснащенного навигационным комплексом и гидроакустической системой освещения обстановки (ГСО), функционирующей в активном и пассивном режимах, заключается в том, что навигационная система АНПА предоставляет исчисляемые координаты, а система управления (СУ) АНПА, используя цифровую карту, регулярно оценивает дистанцию до ближайшего стационарного препятствия. Затем вычисляется период времени, в течение которого АНПА может перемещаться, не активируя ГСО. СУ отслеживает изменение этого временного интервала, пока он остается положительным. В противном случае СУ вычисляет период излучения зондирующих сигналов в активном режиме работы ГСО и дает команду на включение активного режима.

При обнаружении неподвижного препятствия СУ рассчитывает параметры маневра уклонения и в нужный момент дает команду на его выполнение, одновременно с этим, СУ рассчитывает интервал времени между последовательными включениями пассивного режима ГСО и в соответствии с этим интервалом периодически дает команды на включение пассивного режима работы ГСО.

В результате сокращается расход заряда аккумуляторной батареи АБ за счет сокращения времени работы ГСОО в активном и пассивном режимах без сокращения качества работы ГСОО [5].

Для продления времени автономной работы АНПА предлагается еще один инновационный подход: интегрировать в систему энергообеспечения (СЭО) не только стандартные литий-ионные аккумуляторы (ЛИАБ), но и один или несколько электрохимических генераторов (ЭХГ), питающихся от криогенного хранилища (КХ) с реагентами.

Основной режим работы СЭО – режим экономичного хода, который поддерживается ЭХГ, обеспечивая длительное плавание. Вторым, периодически активируемым режимом, является высокоскоростной режим, где энергия для движения АНПА поступает от ЛИАБ. Переключение между этими режимами происходит автоматически, основываясь на анализе данных, полученных от системы освещения подводной обстановки, или по указанию оператора с судна поддержки автономного необитаемого аппарата [6].

3. Оптимизация конструктивных решений

Для расширения возможностей АНПА рассматривается добавление функционала телеуправляемых подводных аппаратов, позволяющего проводить контактные операции с объектами. В этот комплекс войдут манипуляторы, приборы для измерения толщины с использованием ультразвука, средства очистки поверхностей, а также оборудование для оценки эффективности электрохимической защиты от коррозии. Несмотря на сложность интеграции подобных систем в АНПА, эта задача представляется вполне выполнимой [7].

Важно учитывать возможности используемых каналов коммуникации при разработке и внедрении новых инструментов. Модернизация конструкции устройства должна обеспечивать новые функциональные возможности, такие как увеличение времени автономной работы при осуществлении операций на протяженных линиях или повышение маневренности при контактных работах по инспекции площадных объектов.

4. Интеллектуализация системы бортового управления

В контексте перспективного развития автономных обитаемых подводных аппаратов (АНПА) выделяются два ключевых направления.

Первое направление заключается в совершенствовании интеллектуальных возможностей подводного робота. Это достигается за счет формализации и анализа текущей обстановки посредством создания модели окружающей среды или исследуемого объекта, формирования базы знаний и ее применения для управления действиями аппарата. На протяжении последних двадцати лет активно разрабатывались технологии автоматизированного поиска и изучения протяженных объектов, траекторного исследования физических или химических полей, а также автоматической инспекции найденных объектов. Отличительной чертой этих работ является полная автоматизация процессов, исключающая необходимость вмешательства оператора.

Второе направление интеллектуализации автономных обитаемых подводных аппаратов – это возможность вмешательства оператора в критические моменты сложных технологических задач для принятия решений. Уровень участия оператора, включающий время, необходимое для принятия решения, и количество управляющих команд, зависит от характеристик доступных каналов связи. Самый передовой из них, гидроакустический канал, характеризуется ограниченной пропускной способностью, которая снижается по мере удаления аппарата от пунктов управления. В связи с этим, актуальна разработка модели применения бортовой системы управления гибридного аппарата при наличии канала связи с низкой скоростью передачи данных, позволяющего оператору вмешиваться только в ключевые этапы технологического процесса [8].

5. Усовершенствование навигационных систем

В области подводной навигации АНПА изучаются инновационные подходы. В дополнение к методам высокоточного определения местоположения на длинных и глубоких маршрутах, таким как вертикальные акустические приемные системы и многолучевые эхолоты [9], рассматривается возможность использования прецизионного позиционирования при маневрировании или стабилизации аппарата вблизи исследуемого объекта, применяя как высокочастотные гидроакустические устройства, так и системы видеонавигации [10].

Предлагается формирование общих навигационных зон, охватывающих обширную территорию для группы устройств, функционирующих в определенном водном районе. Реализация подобного подхода может быть осуществлена, к примеру, посредством развертывания сети стационарных синхронизированных низкочастотных излучателей гидроакустических сигналов, совместно с бортовыми системами, установленными на роботах, измеряющими текущие расстояния до этих излучателей [11].

6 Создание станций подводного базирования

Зачастую, как при отслеживании исправности подводных добывающих комплексов, процедуры инспектирования и сервисного обслуживания глубоководного оборудования, расположенного на значительном пространстве, обуславливают необходимость многократного и продолжительного использования подводных роботизированных аппаратов для решения разнообразных задач.

Станции подводного базирования, предназначенные для временного размещения инспекционно-го оборудования, являются перспективным решением, поскольку исключают необходимость использования обеспечивающего судна в период проведения работ. В частности, при использовании подводных роботов в арктических условиях такие станции оказываются безальтернативным вариантом.

Разработка станций подводного базирования и автономных аппаратов, предназначенных для работы в их составе, а также сопутствующих технологий, охватывающих полный спектр операций по размещению, техническому обслуживанию, подготовке к работе, приему и отправке, представляет собой инновационную область. Несмотря на новизну, уже проведены предварительные исследования, формирующие научно-техническую основу для решения данной задачи. К ним относятся вопросы точной навигации и подводной стыковки; беспроводной зарядки аккумуляторных батарей [12] и высокоскоростной передачи данных между базой и автономным необитаемым подводным аппаратом, а также организация быстродействующей связи базы с удаленным центром управления.

Заключение

Таким образом, главным направлением развития АНПА является создание гибридного необитаемого подводного аппарата (ГНПА) в результате сочетания в одном устройстве возможностей автономного и телеуправляемого НПА. В научной литературе, находящейся в открытом доступе, такие тенденции, как внедрение ИИ, оптимизация конструкции, усовершенствование навигационных систем, создание станций подводного базирования, рассматриваются в контексте возможностей создания гибридных аппаратов и комплексов.

Улучшенные аппараты откроют новые возможности для освоения Мирового океана. Например, реальным станет обслуживание объектов, находящихся в труднодоступных местах или особых ледовых условиях. Повысится производительность, так как объекты будут обслуживаться с большей скоростью и один аппарат сможет осваивать большую площадь. Стоимость производства работ значительно снизится. Один подводный аппарат сможет выполнять не только исследовательские задачи, но и установку и обслуживание объектов, что увеличит скорость обработки данных и принятия решений от оператора.

В настоящий момент гибридные аппараты такого рода находятся на стадии разработки. Пока для решения задач применяются гибридные комплексы, основанные на аналогичном принципе.

Список источников

1. Chardard Y., Copros T. SWIMMER: Final sea demonstration of this innovative hybrid AUV/ROV system // Proceedings of the 2002 International Symposium on Underwater Technology (Tokyo, Japan, 16–19 April 2002). 2002. P. 17–23. DOI: 10.1109/UT.2002.1002371.

2. Farber A., Erell E. Underwater system and method // Patent United States No. US1000026B2. Published 21.04.2016.

3. Вельтищев В. В., Аладышева Е. И. Обзор и перспективы развития гибридных подводных робототехнических комплексов. // Вестник УГАТУ. 2022. Т. 26. № 1 (95).

4. В России разработают гибридные подводные аппараты для морских исследований. URL: <https://www.ferra.ru/news/v-rossii/v-rossii-razrabotayut-gibridnye-podvodnye-apparaty-02-07-2024.htm> (дата обращения: 04.12.2024).

5. *Машошин А. И., Пашкевич И. В.* Способ экономии запаса электроэнергии автономного необитаемого подводного аппарата // Патент RU2722065C1. Опубликовано: 26.05.2020.
6. *Мартынова Л. А.* Математическая модель работы гибридной системы энергообеспечения автономного необитаемого подводного аппарата большой дальности // Известия ЮФУ. Технические науки. 2019 № 1. С. 212–227.
7. *Aquanaut: A New Tool for Subsea Inspection and Intervention / [J. E. Manley et al.] // Proceedings of OCEANS 2018 MTS/IEEE. Charleston, USA, 2018. P. 1–4.*
8. Развитие технологического потенциала автономных необитаемых подводных аппаратов / Ю. В. Матвиенко [и др.] // Подводные исследования и робототехника. 2020. № 4(34). С. 4–14.
9. *Ваулин Ю. В., Дубровин Ф. С., Щербатюк А. Ф.* Интегрированная система навигации и связи АНПА «ММТ-3000» и опыт ее использования в работах на глубоководных протяженных трассах // Подводные исследования и робототехника. 2017. № 2 (24). С. 14–19.
10. Алгоритмы обработки видео изображений для решения некоторых задач управления и навигации автономных необитаемых подводных аппаратов / [А. А. Борейко и др.] // Подводные исследования и робототехника. 2010. № 1 (9). С. 29–39.
11. *Акуличев В. А., Моргунов Ю. Н., Бородин А. Е.* Региональная система подводного навигационного обеспечения и дистанционного управления // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2014. Т. 7, № 2. С. 36–40.
12. *Герасимов В. А., Филоженко А. Ю., Чепурин П. И.* Структура системы электроснабжения автономного необитаемого подводного аппарата // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 47–55.

УДК 681.513.8

Д. Н. Волобуевстудент кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета**М. П. Щербакова** – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель**РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИРОВКИ ХОККЕИСТОВ**

В современном мире робототехника занимает свою нишу практически во всех сферах жизни, не обошла стороной и спорт. Инженеры робототехники предлагают инновационные решения для перевода данной сферы на новый уровень, в частности, предлагаемые решения улучшают атлетические способности, что непременно приводит к повышению результативности. Робототехнические технологии становятся невероятно полезными в сфере спорта охватывая все больше от анализа движений до создания интеллектуальных тренеров [1].

Именно на тренирующих устройствах и остановимся подробнее на примере популярнейшего зимнего вида спорта – хоккее.

Хоккей с шайбой на льду – командная спортивная игра на льду, заключающаяся в противоборстве двух команд на коньках, которые, передавая шайбу клюшками, стремятся забросить ее наибольшее количество раз в ворота соперника и не пропустить в свои [2].

Тренировочный процесс хоккеистов на льду проходит в нескольких форматах: в командном и в индивидуальном.

Командные тренировки проводятся для улучшения сыгранности и взаимопонимания между игроками команды и изучения разнообразных тактик для игры.

Индивидуальные тренировки проводятся для улучшения собственных навыков хоккеистов. Для полевых игроков это катание, владение шайбой, передачи и броски по воротам. Для вратарей это перемещение в воротах, выбор правильной позиции и скорость реакции.



Рис. 1. Шайбомет PARAMECANIC, Швеция

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Создание роботов для индивидуальных тренировок хоккеистов решает такие проблемы, как:

- 1) Использование для тренировки вратарей и обеспечивает тренировочный процесс независимым от полевых игроков, выполняющих броски по воротам.
- 2) Использование для тренировки приема шайбы и бросков в касание, без обработки шайбы, полевыми игроками.
- 3) Данный робот может использоваться не только как стационарный, но и как мобильный, что позволяет разнообразить тренировочный процесс.

Использование роботов в тренировочных процессах приведет к разнообразию и облегчению индивидуальных тренировок, а также способствует улучшению личных навыков игроков.

Рассмотрим существующий пример робота для помощи в тренировочном процессе:

Шайбомет PARAMECANIC, Швеция (рис. 1), предназначен для тренировки вратарей и обеспечивает тренировочный процесс независимым от полевых игроков [3].

Данный тренажер делает тренировочный процесс более планируемым и дает возможность посылать шайбы в нужный сектор ворот, с заданной частотой и установленной скоростью шайбы, чего невозможно добиться без него.

Шайбомет использует шайбы только с официально установленными размерами (однако могут использоваться даже изношенные шайбы, не пригодные для игр). Этот шайбомет единственный на мировом рынке, шайбы из которого вылетают гироскопически стабилизированными, при этом шайба вращается вокруг своей оси на всем протяжении полета.

Несмотря на вышеперечисленные достоинства робота, у него также имеются недостатки: робот стационарный и работает от сети, следовательно, нужно использовать удлинители, чтобы этим устройством можно было пользоваться, а также перемещать по площадке робота приходится вручную, что затрудняет и тормозит тренировочный процесс.

Далее представлена сводная таблица характеристик некоторых других существующих устройств для тренировки хоккеистов (табл. 1) [4, 5].

Таблица 1

	Шайбомет PARAMECANIC	Пассер-шайбомет "Quick Puck"	Шайбомет "AxelPuck"
Производитель	PARAMECANIC AB	SMART & QUICK	AxelPuck
Страна	Швеция	Китай	Россия
База	Стационарный	Колесный	Стационарный
Мощность	Не указывается	Не указывается	Не указывается
Время автономной работы	-	2 ч	-
Скорость метания шайб	5-160 км/ч	8-160 км/ч	5-155 км/ч
Доступность в России	Массово не производится, цена не указывается	Массово не производится, цена не указывается	Массово не производится, 350 000 р

В связи с тем, что на российском рынке не хватает отечественных устройств, то существует необходимость в создании робота, который будет лишен перечисленных ранее недостатков. Предлагаемое решение – наземный робот для тренировки хоккеистов (рис. 2).

Данное устройство – колесный мобильный робот с приводом на 2 передних колеса, а также с встроенным механизмом для метания шайб. Робот будет оснащен такими датчиками как: оптический датчик, энкодеры, концевой выключатель.

Достоинства представленного устройства заключаются в его автономности, времени работы без подзарядки ориентировочно 3 часа, более низкая цена по отношению к другим подобным устройства. Данный робот может использоваться, как и стационарном режиме, так и в мобильном, что позволяет разнообразить тренировочный процесс и выполнять отработки разной сложности.

Рассмотрим принцип работы данного устройства. На рис. 3 представлена траектория движения предлагаемого робота на стандартной хоккейной площадке.

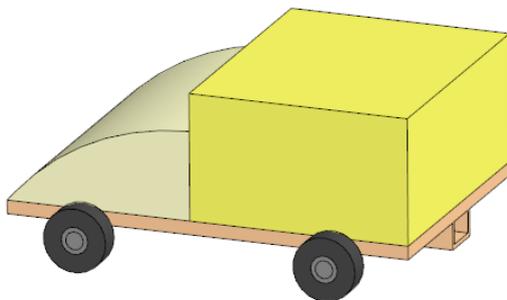


Рис. 2. Модель устройства

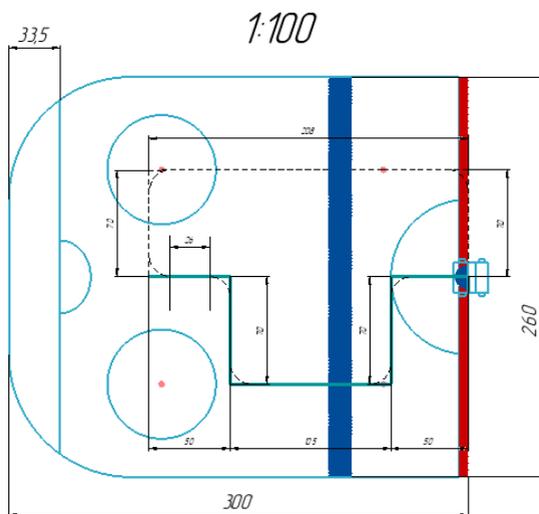


Рис. 3. Траектория движения

Принцип работы предлагаемого устройства следующий: находясь в начальной точке-место метания шайбы, из отсека где находятся шайбы, с помощью реечного механизма, происходит подача шайбы в следующий отсек, где находятся два диска, расположенных с обеих сторон. Далее робот движется из начальной точки по заданной траектории, ориентируясь в пространстве благодаря оптическим датчикам. Пройдя определенную дистанцию, поворачивает на 45° , уменьшая на одном из ведущих колес угловую скорость. Когда до хоккейных ворот будет оставаться определенное расстояние, два крутящихся диска, равномерно подводятся к шайбе, и после их соприкосновения с ней, происходит бросок. После этого робот возвращается в начальную точку и повторяет пройденный этап заново. Чтобы менять траекторию броска на каждый заход, изменяется скорость вращения одного из дисков.

Список источников

1. Робототехника в спорте: как технологии поднимают уровень атлетических достижений. URL: <https://zen.ru/a/ZZhGNR-CNhTTtS6o?ysclid=m6b1lu60u0333945261> (дата обращения: 20.01.2025).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

2. Хоккей. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хоккей> (дата обращения: 24.01.2025).
3. Компания «Спортикс». URL: <https://www.sport-iks.ru/руссо/> (дата обращения: 22.01.2025).
4. Официальный сайт компании «SMART & QUICK» URL: <https://www.smartspro.ru/shop/khokkeynye-trenazhyory/passershaybomet-quick-puck/> (дата обращения: 23.01.2025).
5. Сайт «Доски.ру». URL: <https://moskva.doski.ru/shaibomet-dlya-trenirovki-vratarei-msg1824752.htm> (дата обращения: 23.01.2025).

УДК 621.31

И. С. Воробьев

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. М. Медунецкий – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

АНАЛИЗ ПРИВОДНОЙ СИСТЕМЫ ЗАХВАТОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ

Введение

Внедрение промышленных роботов-манипуляторов стало ключевым фактором автоматизации производственных процессов. Одним из критически важных компонентов таких систем являются приводные механизмы захватов, обеспечивающие точность, надежность и адаптивность при взаимодействии с объектами.

Приводные системы для захватов можно условно разделить на три категории: пневматические, электрические и гидравлические. Пневматические приводы, основанные на сжатом воздухе, часто применяются в задачах, требующих высокой скорости срабатывания и простоты конструкции. Однако их недостатком остается ограниченная точность позиционирования, что делает их менее пригодными для операций с хрупкими или сложными объектами. Электрические приводы, напротив, обеспечивают высокую точность за счет использования сервомоторов и датчиков обратной связи, что особенно востребовано в электронной промышленности и микрообработке. Гидравлические системы, хотя и обладают значительной мощностью, постепенно уступают место более экологичным и менее громоздким аналогам [1].

Современные тенденции направлены на интеграцию гибридных систем, сочетающих преимущества разных типов приводов. Например, комбинация электрического управления с пневматической силой позволяет достичь баланса между скоростью и точностью. Кроме того, развитие алгоритмов машинного обучения открывает возможности для адаптивного управления, где приводная система автоматически корректирует усилие захвата в зависимости от свойств объекта.

Ключевым вызовом остается минимизация энергопотребления и повышение долговечности компонентов. Использование материалов с памятью формы или пьезоэлектрических элементов может стать перспективным направлением, однако такие решения пока находятся на стадии экспериментальной апробации.

Классификация приводных систем

Традиционно приводы делятся на три категории: пневматические, гидравлические и электрические.

Пневматика доминирует в задачах, где критична скорость: захват и перемещение легких объектов на конвейерах. Однако ее ограничения – шум, зависимость от компрессоров и низкая точность – сужают область применения.

Гидравлика сохраняет позиции в тяжелой промышленности, например, в литейных цехах, где требуется усилие в десятки кН. Современные системы, такие как замкнутые контуры с биоразлагаемыми жидкостями, снижают экологические риски, но увеличивают стоимость.

Электрические приводы стали основой для высокоточных операций. Их гибкость и управляемость позволяют реализовать сложные алгоритмы, что особенно важно в микроэлектронике и фармацевтике [2].

Электрические приводы: многообразие решений

Электрические системы неоднородны – их характеристики зависят от типа используемых двигателей:

- 1) Двигатели постоянного тока (ДПТ) с щеточным механизмом. Простая конструкция и низкая стоимость делают их популярными в роботах начального уровня. Однако износ щеток, искрение и необходимость частого обслуживания ограничивают их применение в условиях высокой нагрузки.

2) Вентильные двигатели (BLDC – Brushless DC). Бесщеточная конструкция устраняет главный недостаток ДПТ. Ротор с постоянными магнитами и статор с обмотками управляются через электронный коммутатор, что обеспечивает КПД до 90%. Такие двигатели незаменимы в задачах, где требуется долговечность и точность: например, в роботах для сборки электронных компонентов.

3) Серводвигатели. Эти системы объединяют двигатель (чаще BLDC), датчик положения (энкодер) и контроллер. Обратная связь позволяет корректировать положение вала с точностью до микрометра. Например, в автомобилестроении сервоприводы используются для установки деталей кузова с минимальным допуском.

4) Линейные электроприводы. В отличие от вращательных двигателей, они обеспечивают прямолинейное движение, что упрощает кинематику захвата. На основе пьезоэлектрических элементов созданы миниатюрные приводы для медицинских роботов, выполняющих операции на клеточном уровне [3].

Тенденции и вызовы

Современные системы стремятся к гибридизации. Например, комбинация BLDC-привода с пневматическим усилителем позволяет роботу-упаковщику быстро захватывать хрупкие предметы, регулируя усилие «на лету». Развитие материаловедения также вносит вклад: использование углепластиковых шестерней снижает массу и инерцию механизмов.

Однако сохраняются проблемы:

- высокая стоимость bldc-двигателей и сервосистем;
- тепловыделение в компактных приводах, требующее сложных систем охлаждения;
- необходимость в адаптивных алгоритмах, способных учитывать износ компонентов;
- приводные системы захватов: как электрические машины переписывают правила промышленной робототехники.

Если пневматика – это прошлое, а гидравлика – настоящее, то электрические приводы – это будущее, которое уже наступило. Современные роботы-манипуляторы, оснащенные продвинутыми электродвигателями, способны на то, что еще десять лет назад казалось фантастикой: от сборки квантовых процессоров до погрузки радиоактивных отходов [4].

Принципы работы двигателей

Таблица 1

Сводная таблица характеристик

Тип привода	Особенности	Мощность	Масса	Габариты
ДПТ (щеточный)	Простая конструкция, низкая стоимость, искрение, износ щеток	10 Вт – 2 кВт	0.5–15 кг	Ø 30–150 мм, длина 50–300 мм
BLDC	КПД до 90%, низкий шум, точное позиционирование, требуется драйвер	50 Вт – 5 кВт	На 20–30% легче ДПТ	Компактные, плоский профиль (Ø 65 мм)
Серводвигатели	Точность до 0.001 мм, интеграция в промышленные сети, высокая динамика	100 Вт – 10 кВт	1–50 кг	На 15–20% крупнее BLDC (встроенный энкодер)
Линейные приводы	Прямолинейное движение, пьезоприводы (нанометровая точность, ход ≤1 мм)	5 Вт – 3 кВт	10 г – 20 кг	Длина 20 мм – 2 м
Степперные двигатели	Простое позиционирование без обратной связи, риск пропуска шагов	1–500 Вт	0.1–5 кг	Кубические модули 20×20×20 мм – Ø 80 мм

- 1) ДПТ (щеточный). Энергия преобразуется за счет взаимодействия магнитных полей статора (постоянные магниты/обмотки) и ротора. Коммутация тока – через щеточно-коллекторный узел.
- 2) BLDC (бесщеточный). Ротор с постоянными магнитами, статор с трехфазными обмотками. Коммутация управляется электронным контроллером на основе данных от датчиков положения.
- 3) Серводвигатели. Система включает двигатель (BLDC), энкодер и контроллер. Обратная связь позволяет корректировать положение с микрометровой точностью.
- 4) Линейные приводы. Преобразуют вращательное движение в линейное через шарико-винтовые передачи, рейки или пьезоэлементы.
- 5) Степперные двигатели. Ротор вращается дискретно, фиксируясь в позициях, заданных шагом обмоток статора. Управление импульсное.

В табл. 1 представлены сводные характеристики вышеописанных двигателей.

BLDC-двигатели: тихая революция

Вентильные двигатели, некогда использовавшиеся только в космических аппаратах, сегодня стали стандартом для прецизионных задач. Компания Fanuc в 2023 году представила захват с BLDC-приводом, который за 0.2 секунды адаптируется к форме объекта, анализируя данные с 120 встроенных тензодатчиков. Ключевой прорыв – алгоритмы на основе GAN (генеративно-состязательных сетей), которые предсказывают деформацию объекта и корректируют усилие до контакта [5].

Серводвигатели с ИИ-контролем

Традиционные сервосистемы уступают место «когнитивным» приводам. Например, ABB YuMi использует двигатели, которые не просто выполняют команды, но и обучаются: нейросеть анализирует вибрации и температуру, прогнозируя поломки. Такие системы уже сокращают простой на 17% [6].

Линейные пьезоприводы: маленькая и эффективная альтернатива

Японский стартап NanoGrip создал захват для биороботов, где перемещение в 5 нм обеспечивается пьезокерамикой. Это позволило манипулировать отдельными клетками без повреждений – прорыв для регенеративной медицины [7].

За гранью классики: двигатели, которые нарушают законы физики

Квантовые приводы (экспериментальные): в 2024 г. CERN представил прототип захвата с двигателем на сверхпроводящих кубитах. Система регулирует усилие за счет квантовой запутанности, достигая синхронизации с точностью 10^{-9} секунды.

Биогибридные мускулы: Университет Токио выращивает искусственные мышечные волокна из клеток грызунов, интегрируя их с электродами. Такие приводы самовосстанавливаются и потребляют в 10 раз меньше энергии, чем BLDC [8].

Вызовы: когда технологии опережают реальность

Несмотря на прогресс, индустрия сталкивается с парадоксом: роботы становятся слишком совершенными. Например, захваты с нейроинтерфейсами, разработанные Neuralink, требуют перепроектирования всего производственного цикла, так как их точность превышает человеческие стандарты контроля.

Заключение

В ходе изучения и обработки информации для написания данной статьи были изучены существующие и перспективные варианты приводов роботизированных систем. Данный материал поможет в дальнейшем выборе элементов приводных систем для проектирования и разработки приводных систем производственных роботов.

Список источников

1. *Сидоров Д. М.* Робототехника и автоматизация производственных процессов. СПб.: Политехника, 2018. 254 с. ISBN 978-5-7325-1234-5.
2. *Федоров Н. Л., Козлов И. А.* Гибридные приводные системы: проектирование и применение. Новосибирск: Наука, 2021. 198 с. ISBN 978-5-02-040123-7.
3. *Иванов А. В., Петров С. К.* Электрические приводы промышленных роботов: теория и практика. М.: Техносфера, 2020. 320 с. ISBN 978-5-94836-567-8.
4. *Белов А. А.* Современные технологии в робототехнике: обзор российских разработок. 2022. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48593267> (дата обращения: 11.03.2025).
5. *Васильев П. Р., Семенова Т. А.* Анализ энергоэффективности BLDC-двигателей в промышленных манипуляторах // Робототехника и техническая кибернетика. 2022. № 4. С. 45–52. DOI: 10.18721/JRTS.42043.
6. *Смирнов В. О.* Тенденции развития сервоприводов с ИИ-управлением // Автоматизация в промышленности. 2021. № 7. С. 22–28.
7. *Кузнецов М. И., Григорьев А. С.* Применение пьезоэлектрических приводов в микроробототехнике // Датчики и системы. 2023. Т. 27. № 1. С. 34–40. DOI: 10.25728/ds.2023.01.036.
8. *Suzuki M., Tanaka Y., Takeuchi S.* Biohybrid actuators powered by living muscle tissues for adaptive robotics // Advanced Robotics. 2023. № 37(8). P. 567–579. DOI: 10.1080/01691864.2023.1234567.

УДК 347.463

Н. Е. Гольшев

студент кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета

М. П. Щербакова – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель

КОНВЕРТОПЛАН ДЛЯ ОТБОРА ПОЧВ

В настоящее время широкое распространение получили летающие роботы, представляющие собой автономное или дистанционно управляемое устройство, способное перемещаться в воздушном пространстве без присутствия пилота на борту. Особенности летающих роботов позволяют им эффективно применяться в различных сферах, где необходимо контролировать ситуацию или вести наблюдение.

Конвертоплан для отбора почв представляет собой инновационное инженерное решение, предназначенное для проведения геологических исследований и экологического мониторинга. Этот уникальный аппарат сочетает в себе возможности вертикального взлета и посадки, присущие вертолетам, с высокой скоростью и дальностью полета, характерными для самолетов.

Основные преимущества конвертоплана для отбора почв включают [1]:

1. **Мобильность:** конвертоплан способен работать в труднодоступных и удаленных районах, где традиционные наземные транспортные средства не могут проехать. Это особенно важно для исследований в горных районах, пустынях и арктических зонах.
2. **Высокая эффективность:** благодаря своей конструкции конвертоплан может быстро перемещаться между точками отбора проб, сокращая время и затраты на проведение исследований.
3. **Точность:** конвертоплан оснащен современными системами навигации и автоматического управления, что позволяет точно позиционировать его над участками отбора проб и осуществлять забор почвенных образцов с минимальными отклонениями.
4. **Гибкость:** многофункциональные сенсоры и инструменты, установленные на конвертоплане, позволяют проводить не только забор почвы, но и измерять различные параметры, такие как влажность, состав почвы и наличие загрязняющих веществ.
5. **Экологичность:** использование электрических двигателей или гибридных систем в конвертопланах снижает выбросы вредных веществ и шумовое загрязнение, что делает их экологически безопасными для проведения исследований в природоохранных зонах.



Рис. 1. Конвертоплан GeoDrone XL VTOL

Конвертопланы для отбора почв открывают новые возможности для научных исследований, мониторинга состояния окружающей среды и разработки природных ресурсов. Их применение способствует улучшению качества данных и повышению эффективности работ по изучению и охране нашей планеты.

На данный момент разработано несколько устройств, которые выполняют схожую задачу. Рассмотрим некоторые из них.

1. Конвертоплан GeoDrone XL VTOL (рис. 1) – универсальный автоматический аэрофотосъемочный комплекс вертикального взлета и посадки, подходит для подготовки специалистов для проведения работ по аэрофотосъемке, обработке и анализу полученных данных. Комплекс содержит все необходимые методики и инструкции для включения его в состав образовательных программ доп. образования в вузах. Конвертоплан используется для аэрофотосъемки больших площадей (до 700 га за вылет) и протяженных объектов (до 80км). Время полета до 80 мин со скоростью порядка 55-75 км/ч. Также используется для геодезической и топографической съемки [2].

2. Суперкам SX350 (рис. 2) – совмещает в себе конструктивные особенности БВС самолетного и вертолетного типа. Преимущества заключаются в возможности вертикального взлета-посадки, отсутствие необходимости в поиске взлетно-посадочного участка, возможность совмещения различных типов полезной нагрузки. Как и GeoDrone XL VTOL, устройство отлично подходит для проведения высокоточной аэрофотосъемки и видеосъемки. Аэродинамическая схема устройства предусматривает возможность совмещения разных типов унифицированной полезной нагрузки с использованием средств фото- и видеодиагностики. Также Суперкам SX350 может быть использован для проведения оперативного мониторинга подстилающей поверхности, имеется возможность для размещения мультиспектральных камер, газоанализаторов и установки лазерного сканирования местности, высокоточного геодезического оборудования [3].



Рис. 2. Superkam SX350

3. Беспилотная авиационная система «ДИАМ 12К» вертикального взлета и посадки с электродвигателем (рис. 3). Предназначена для выполнения различных задач Дистанционного зондирования земной поверхности и доставки грузов [4].

Можно сделать вывод, что в настоящее время еще не разработали доступное устройство, способное выполнять поставленную задачу, а использование имеющихся устройств не является целесообразным по причине их другого основного назначения. Исходя из этого, предлагается разработка нового технического решения, удовлетворяющего необходимым требованиям (рис. 4).

Устройство будет оснащено четырьмя приводами, по одному на каждый из винтов и элементной базой для осуществления управления устройством, робота которого осуществляется посредством многоканальной схемы системы автоматического управления [5].

Перемещение робота в пространстве (рис. 5) будет обеспечиваться изменением скорости вращения винтов. Для перемещения в вертикальной плоскости изменяется скорость вращения пропеллера 1 (П1) и пропеллера 2 (П2). Поворот будет осуществляться изменением скорости вращения П3 и П4.



Рис. 3. Конвертоплан ДИАМ 12К

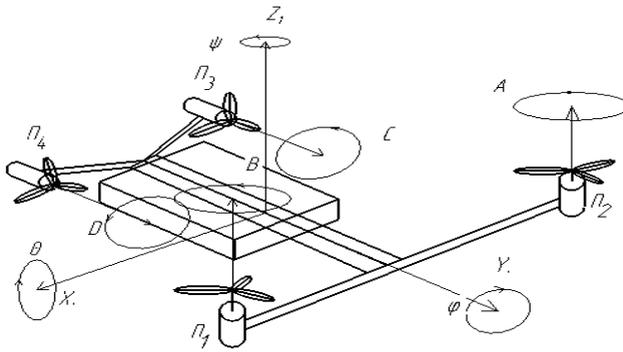


Рис. 4. Схема устройства:
 П1–3 – пропеллеры; А, В, С, D – направления вращения каждого винта;
 φ – угол крена; ψ – угол рысканья; θ – угол тангажа

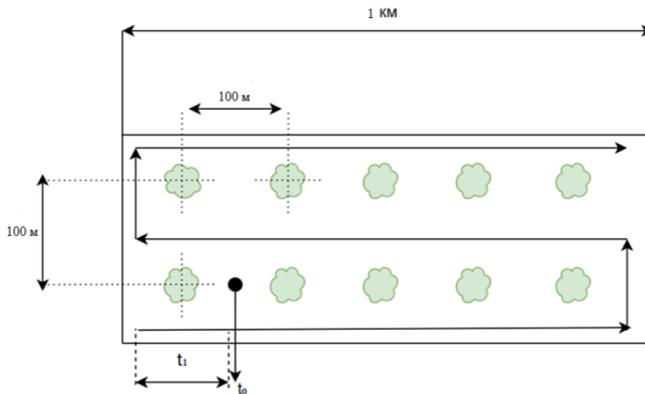


Рис. 5. Пример траектории движения

Анализ рис. 5: конвертоплан после взлета должен выйти на траекторию и при обнаружении точки взятия пробы должен сместиться к ней. После взятия образца почвы должен направиться к следующей цели. После заполнения всех вернуться на траекторию или к оператору.

При уровне заряда менее 25% робот должен по кратчайшей траектории вернуться к оператору для подзарядки. За весь заряд аккумулятора дрон должен пролететь расстояние около 46 км.

Для контроля положения устройства в пространстве будет использоваться система GPS-навигации [6]. Еще один датчик – гироскоп, будет предназначен для слежения за углами ориентации робота [7].

Список источников

1. Разработка конвертопланов в России: потенциал, вызовы и перспективы. URL: <https://avia.pro/blog/razrabotka-konvertoplanov-v-rossii-potencial-vyzovy-i-perspektivy>. (дата обращения: 23.12.2024).
2. GeoDrone XL VTOL. URL: <https://russiandrone.ru/catalog/bespilotnye-kompleksy/konvertoplan/konvertoplan-geodrone-xl-vtol/?ysclid=m5psjdcv55662692563> (дата обращения: 23.12.2024).
3. Supercam SX530. URL: <https://supercam.aero/catalog/supercam-sx350?ysclid=m5psibb9lo683989738> (дата обращения: 23.12.2024).
4. ДИАМ 12К. URL: <https://russiandrone.ru/catalog/bespilotnye-kompleksy/konvertoplan/bespilotnaya-aviatsionnaya-sistema-diam-12k/?ysclid=m5pskkgv18230493129> (дата обращения: 23.12.2024).
5. Коновалов Б. И. Теория автоматического управления. Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. 163 с.
6. GPS: как работает, история. URL: <https://skillbox.ru/media/code/kak-rabotaet-gps/> (дата обращения 10.01.2025).
7. Гироскоп. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гироскоп> (дата обращения: 10.01.2025).

УДК 615.471

К. А. Давидовастудент кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета**М. П. Щербакова** – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель**О РАЗРАБОТКЕ АКТИВНЫХ РУКОЯТОК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТЕНДОВ**

Медицинские стенды играют ключевую роль в современной медицине, обеспечивая врачам и медицинскому персоналу доступ к необходимым инструментам и оборудованию [1]. Однако, существующие системы управления медицинскими стендами часто ограничены в функциональности и удобстве использования. Одной из основных проблем является необходимость в активных рукоятках, которые могли бы улучшить точность и эргономику управления. В этой статье мы рассмотрим существующую проблему, проведем обзор существующих устройств и предложим наше решение для разработки активных рукояток системы управления медицинского стенда.

Современные медицинские стенды часто оснащены пассивными рукоятками, которые требуют значительных физических усилий для управления. Это может привести к усталости оператора, снижению точности и увеличению времени выполнения процедур. Кроме того, пассивные рукоятки не могут адаптироваться к индивидуальным особенностям пользователя, что делает их использование менее эффективным.

Медицинские стенды для хирургических операций оснащены различными системами управления, обеспечивающими точное и эффективное управление инструментами [2]. Классификация органов управления медицинских стендов представлена на рис. 1:

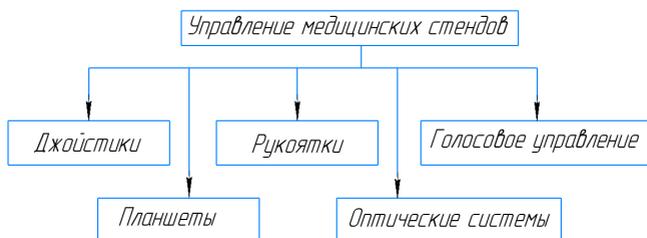


Рис. 1. Классификация управления медицинских стендов

Основные типы управления включают следующие решения:

Джойстики – ручные устройства с рычагами и кнопками, преимущества которых: высокая точность и интуитивный интерфейс; недостатки заключаются в необходимости времени для освоения и ограниченная свобода движений.

Рукоятки – пассивные и активные устройства, достоинства которых аналогичны достоинствам джойстика, а недостатки заключаются в сложности настройки и обслуживания.

Планшеты – сенсорные устройства с управлением через касания и жесты, преимущества которых: высокая свобода движений и интуитивный интерфейс; недостатки: менее точные, требуют адаптации.

Голосовое управление – управление через голосовые команды, преимущества которых: свобода рук и использование в стерильных условиях; недостатки: менее точное, требует надежного распознавания речи.

Оптические системы – устройства, включающие в себя камеры и сенсоры для отслеживания движений, достоинства которых: высокая точность и использование в стерильных условиях; недостатки: сложность в настройке, требуют надежного освещения.

Выбор типа управления зависит от типа операции, предпочтений хирурга и технических возможностей учреждения.

Рассмотрим некоторые примеры существующих конструкций, проведем анализ их преимуществ и недостатков.

Da Vinci от Intuitive (рис. 2) является одной из наиболее известных роботизированных систем в медицине, оснащенная активными рукоятками, которые позволяют хирургам выполнять сложные операции с высокой точностью [3]. Однако такие системы являются крайне дорогими и требуют специальной подготовки для использования.



Рис. 2. Рукоятки управления Da Vinci от Intuitive

Джойстики Ily SterLab (рис. 3) используются в медицинских стендах и легко интегрируются с роботизированными хирургическими системами, обеспечивая синхронное управление, и могут быть оснащены системами обратной связи, что позволяет хирургу чувствовать сопротивление и другие параметры, улучшая контроль над операцией [4]. Кроме того, они изготавливаются из высококачественных материалов, что обеспечивает их надежность и долговечность в эксплуатации.



Рис. 3. Джойстики Ily SterLab

Предлагаемое решение заключается в разработке активных рукояток, которые будут оснащены датчиками для обеспечения высокой точности и удобства использования. Так как рукоятки будут изго-

тавливаться под определенный медицинский стенд для проведения ретроградной интратаренальной хирургии (РИРХ) операций (МС RIRS – медицинский стенд Retrograde intrarenal surgery), основываясь на нужных характеристиках, мы установили две рукоятки. На рис. 4 показана общая схема устройства.

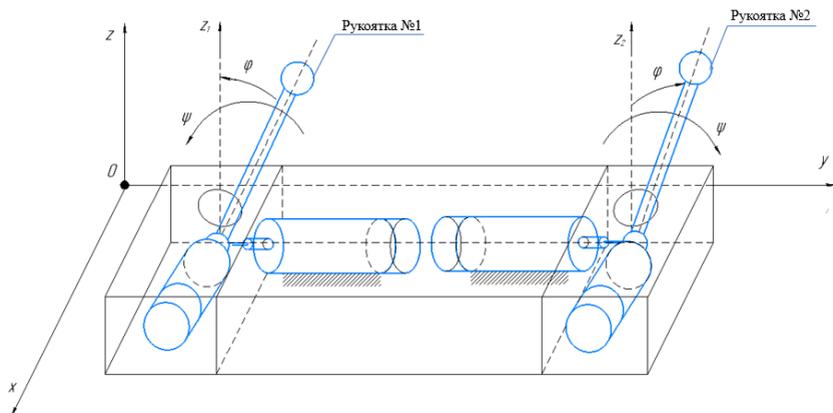


Рис. 4. Общая схема активных рукояток управления МС RIRS

Так как конструктивно рукоятки идентичны, рассмотрим на рис. 5 одну из них для анализа комплекующих.

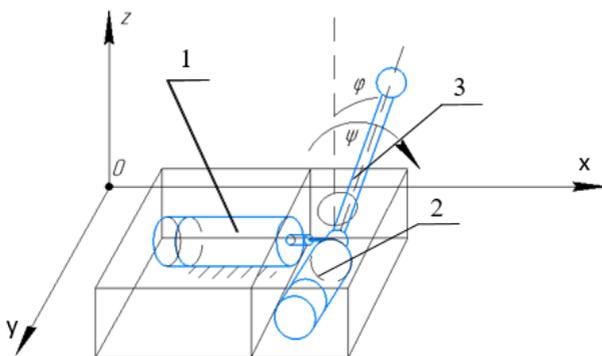


Рис. 5. Схема одной рукоятки

Схема устройства включает следующие соответствующие нумерации компоненты:

1. Привод № 1: включает в себе электродвигатель, редуктор и встроенный редуктор (для анализа угла поворота по оси x);
2. Привод № 2: включает в себе электродвигатель, редуктор и встроенный энкодер (для анализа угла поворота по оси y);
3. Рукоятка с встроенными тензометрическими датчиками, для анализа приложенной оператором (хирургом) силы.

Помимо этого, в схеме обязан присутствовать контроллер для обработки данных, соблюдения алгоритма системы управления, управления самих приводов, интерфейс пользователя, который вклю-

чает в себя экран для анализа нахождения дистального конца уретероскопа, в котором находится микрокамера. Система является двухканальной, моделирование каналов идет по углу перемещения и по силе, прикладываемой оператором (хирургом).

Преимущества предлагаемого решения имеет заключены в следующем:

1. **Высокая точность:** активные рукоятки обеспечивают высокую точность управления.
2. **Удобство использования:** система адаптируется к индивидуальным особенностям пользователя.
3. **Доступность:** предлагаемое решение будет более доступным по цене по сравнению с существующими аналогами.

Исходя и вышенаписанного, разработка активных рукояток системы управления медицинского стенда является важной задачей для улучшения точности и удобства использования. Предлагаемое устройство включает использование датчиков для обеспечения высокой точности и адаптивности к индивидуальным потребностям пользователей. В перспективе предлагаемое решение поможет улучшить качество медицинских процедур и снизить усталость операторов.

Список источников

1. *Цомартова Ф. В.* Роботизация в здравоохранении: правовая перспектива // Здравоохранение РФ. 2020. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/robotizatsiya-v-zdravoohranenii-pravovaya-perspektiva> (дата обращения: 24.01.2025).
2. Роботы в современной медицине. URL: <https://sbermed.ai/roboty-v-medicine> (дата обращения: 25.01.2025).
3. Intuitive da Vinci. URL: <https://intuitive.com/en-us/products-and-services/da-vinci> (дата обращения: 27.01.2025).
4. Telemanipulator robot for ureteroscopes. URL: https://www.sterlab.com/ily/ily_uk.html (дата обращения: 28.01.2025).

УДК 681.513.2

Р. В. Деревянкостудент кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета**М. П. Щербакова** – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНТРАРЕНАЛЬНЫХ
ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНДОСКОПА**

Робототехническая хирургия в этом году отмечает 40-летие со дня создания первого манипулятора, способного облегчить работу специалиста. Несмотря на практически полувековую историю развития отрасли, при дальнейшем ее исследовании было обнаружено, что на вопрос целесообразности создания роботов-хирургов врачи не могут дать однозначного ответа. Основной причиной этому является сложность, а также, до недавнего времени, невозможность разработки механического комплекса с высоким уровнем автономии. Ввиду этого подавляющее большинство моделей являются роботами, работающими по схеме «ведущий – ведомый». Иначе говоря, данные типы роботов не способны самостоятельно выполнять операции над людьми, они – инструмент для облегчения работы хирурга [1].

На рис. 1 представлен один из самых популярных роботов-ассистентов – «da Vinci». Благодаря высокой точности, а также удобному и понятному для специалиста интерфейсу управления, данная система позволяет значительно снизить риски для пациентов во время проведения операций. Однако лишь малая часть из модификаций данной системы способна проводить малоинвазивные операции [2]. Также необходимо отметить важный минус всей линейки «da Vinci» – высокую стоимость каждой модели.



Рис. 1. Хирургическая система da Vinci

В связи с тем, что на российском рынке не хватает отечественных устройств, существует необходимость в создании робототехнического комплекса, обладающего относительной дешевизной в производстве и способного проводить малоинвазивные операции с использованием эндоскопа [3].

Предлагаемое решение – манипуляционная система для проведения урологических вмешательств. На рис. 2 представлена кинематическая схема управления эндоскопом.

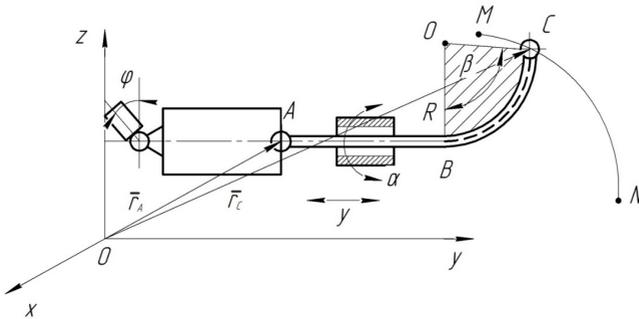


Рис. 2. Кинематическая схема управления эндоскопом

Из рис. 2 видно, что для управления эндоскопом система должна оснащаться тремя приводами: линейным, для перемещения эндоскопа вдоль оси Oy ; приводом для поворота эндоскопа вокруг оси Oy ; приводом для поворота рукоятки уретроскопа. Последний требует более детального рассмотрения.

Эндоскоп представлен на рис. 3. На его корпусе располагается специальный отсек для введения лазера, а также рукоятка, с помощью которой врач способен менять положение дистального конца. При повороте рукоятки на один градус активная часть эндоскопа (80 мм) изменяется на 6 градусов [4].

Управление положением торцом дистального конца уретроскопа и является основной задачей разработки. Для решения этой задачи в лаборатории НИЛ «МиР» была разработана конструкция, представленная на рис. 4.



Рис. 3. Эндоскоп «PUSEN»

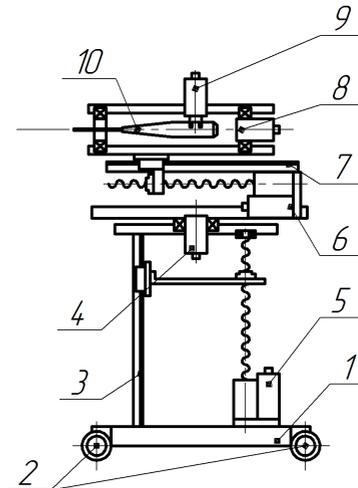


Рис. 4. Конструкция робота-ассистента: 1 – стойка; 2 – колесные опоры; 3 – линейная направляющая с кареткой; 4- поворотный электропривод стойки; 5 – линейный электропривод стойки; 6 – линейный привод манипулятора; 7 – линейная направляющая с кареткой манипулятора; 8 – поворотный привод манипулятора; 9 – привод рукоятки уретроскопа; 10 – уретроскоп

Принцип работы предлагаемого устройства следующий: врач вводит в катетер активную часть эндоскопа, после чего с помощью пульта управления настраивает максимальную скорость движения приводов, надевает две кибер-перчатки и приступает к управлению системой [5].

На одной из перчаток расположен IMU-модуль, предоставляющий возможность оператору регулировать скорости привода поворота рукоятки (тангаж ψ) и привода поворота каретки (крен θ) посредством изменения угла поворота ладони. На второй перчатке расположены кнопки управления линейным приводом, отвечающие за движение вперед и назад. На рис. 5 представлена схема управления перчаткой.

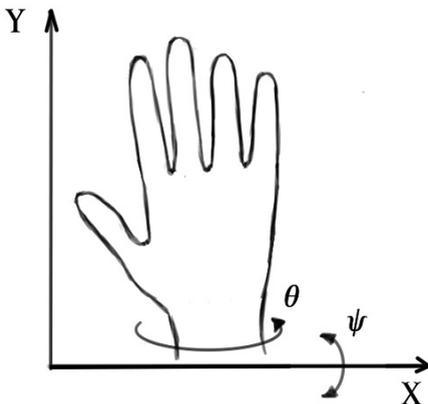


Рис. 5. Схема управления перчаткой

Список источников

1. История эволюции робототехнической хирургии. URL: <https://urologia.ru/tpost/byvggbe541-istoriya-evolyutsii-roboticheskoi-hirurg> (дата обращения: 20.01.2025).
2. Роботизированная система da Vinci в Германии – малоинвазивная хирургия. URL: <https://www.phsmed.de/procedure-i-technologie/item/sistema-da-vinchi/> (дата обращения: 22.01.2025).
3. Роботическая хирургия в России: статистика за 2022 год. URL: <https://robot-davinci.ru/materialy/roboticheskaya-hirurgiya-v-rossii-itogi-za-2022-god/> (дата обращения: 23.01.2025).
4. Гибкий уретроскоп Pusen. URL: <http://pusen.ru/> (дата обращения: 25.01.2025).
5. Сайт компании Elmed. URL: <https://elmed-as.com/products/avicenna-roboflex/> (дата обращения: 25.01.2025).

УДК 393.7

Р. Э. Дылыков

студент кафедры электромеханики и робототехники

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

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Введение

Экстремальные погодные условия в зимний период, включая снегопады, ледяные дожди, низкие температуры и сильные ветры, представляют серьезную угрозу для надежности работы воздушных линий электропередач (ВЛЭП). Эти факторы могут вызывать механические повреждения проводов, разрушение опор и увеличение нагрузки на системы энергоснабжения.

Целью данной статьи является обзор существующих решений моделей оценки риска повреждения ВЛЭП в зимний период и выявление наиболее перспективных методов повышения надежности электроэнергетических систем.

Методы оценки риска повреждения ВЛЭП

Современные подходы к оценке риска повреждения ВЛЭП в зимний период основаны на различных методах анализа, которые позволяют прогнозировать возможные аварийные ситуации и разрабатывать эффективные меры профилактики. Среди ключевых методов можно выделить физическое моделирование, метеорологическое прогнозирование, алгоритмы машинного обучения и геоинформационные технологии [1].

Физическое моделирование и эмпирические расчеты

Этот метод базируется на применении математических моделей и данных лабораторных исследований для оценки воздействия неблагоприятных погодных условий на провода и опоры ЛЭП. В расчетах учитываются такие параметры, как масса ледяных отложений, механическая прочность проводов и опор, а также влияние динамических нагрузок, вызванных ветровыми порывами.

Расчет массы ледяного покрытия на проводе. Ледяная нагрузка рассчитывается по формуле:

$$P_0 = \pi \times d \times t \times \rho,$$

где P_0 – масса льда на 1 м провода (кг/м), d – диаметр провода (м), t – толщина ледяного слоя (м), ρ – плотность льда (917 кг/м³).

Допустим, диаметр провода составляет $d = 0,02$ м, а толщина льда $t = 0,02$ м. Тогда масса льда на 1 м провода:

$$P_0 = \pi \times 0,02 \times 0,01 \times 917 = 0,576 \text{ кг/м.}$$

Если длина пролета составляет 300 м, то общий вес льда на проводе:

$$P = 0,576 \times 300 = 172,8 \text{ кг.}$$

Пример. В лабораторных условиях на проводах создаются искусственные ледяные образования, после чего измеряются предельные нагрузки, при которых возможны механические повреждения. Полученные результаты позволяют предсказать допустимые уровни обледенения и разработать методы защиты от чрезмерных нагрузок [2].

Прогнозирование на основе метеорологических данных

Использование метеоданных для оценки рисков повреждения линий электропередач является важной частью предсказательных систем. Анализируя показатели температуры, влажности, скорости

ветра и количества осадков, специалисты могут определить вероятность образования наледи и снеговых отложений на проводах.

Для оценки вероятности обледенения используется параметр гололедного индекса:

$$I = \frac{V \times RH}{T + 10},$$

где: I – индекс гололедообразования, V – скорость ветра (м/с), RH – относительная влажность (%), T – температура воздуха (°C).

При скорости ветра V = 8 м/с, влажности RH = 90% и температуре T = -5°C:

$$I = \frac{8 \times 90}{-5 + 10} = \frac{720}{5} = 144.$$

Если индекс превышает 100, то риск сильного обледенения считается высоким, и необходимо принимать защитные меры [3].

Пример. Если прогнозируется длительное воздействие отрицательных температур в сочетании с высокой влажностью, службы электросетевого хозяйства могут заранее принять превентивные меры, например, активировать системы подогрева проводов или подготовить аварийные бригады для оперативного устранения возможных повреждений.

Алгоритмы машинного обучения

Применение технологий искусственного интеллекта позволяет анализировать большие массивы данных, выявляя закономерности, которые невозможно определить традиционными методами. Машинное обучение помогает повысить точность прогнозов за счет использования информации о прошлых аварийных ситуациях, метеорологических условиях и особенностях конкретных участков линий электропередач.

Пример. На основе анализа данных за несколько лет алгоритм выявляет зависимость между частотой аварий и определенными климатическими условиями. В дальнейшем модель используется для предсказания зон повышенного риска и оптимального распределения технических ресурсов.

Геоинформационные системы (ГИС) для картографического анализа рисков

ГИС-технологии позволяют визуализировать проблемные зоны и учитывать факторы рельефа, климатических условий и инфраструктуры при разработке мер по защите ЛЭП. С их помощью можно определить участки, где из-за особенностей ландшафта чаще накапливается лед и снег.

Пример. На основе ГИС-анализа выявляются низменные участки и регионы с высокой влажностью, где чаще всего происходит образование наледи. Это помогает спланировать установку дополнительных опор, усиление конструкций или применение защитных покрытий на проводах [4].

Заключение

Эффективная оценка рисков повреждения воздушных линий электропередач в зимний период требует комплексного подхода. Применение методов физического моделирования, прогнозирования на основе метеоданных, машинного обучения и геоинформационных систем позволяет значительно повысить точность прогнозов и сократить количество аварийных ситуаций. Современные технологии помогают минимизировать влияние экстремальных погодных условий на энергосистему, обеспечивая ее надежную работу даже в сложных климатических условиях.

Список источников

1. Захаров О. В., Беляев А. И. Геоинформационные системы в анализе рисков повреждения ЛЭП // Энергетическая безопасность. 2019. № 3. С. 33–45.
2. Современные методы борьбы с гололедными отложениями на проводах воздушных линий электропередачи средствами силовой электроники / [А. А. Кувшинов и др.]. URL: <https://www.energy->

t.ru/about/articles/sovremennyye-metodyi-borbyi-s-gololyodnyimi-otlozheniyami-na-provodax-vozdushnyix-linij-elektroperedachi-sredstvami-silovoj-elektroniki.html (дата обращения: 13.03.2025).

3. *Иванов А. А., Смирнов В. П.* Влияние зимних погодных условий на надежность ВЛЭП // Электроэнергетика. 2021. № 4. С. 56–62.

4. *Петров К. С., Васильев Н. М.* Машинное обучение в прогнозировании аварий на линиях электропередач // Вестник энергетики. 2020. № 7. С. 89–101.

УДК 65.012.2:002:006.354

К. В. Епифанцев

кандидат технических наук, доцент

**ПРИМЕНЕНИЕ QR-КОДОВ В КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

В процессе разработки электронных конструкторских документов часто возникает необходимость размещения на чертеже дополнительной информации в виде внешней ссылки, однако, если этот чертеж распечатан, не всегда удобно и правильно размещать гиперссылку на поле технических требований. Это может быть неэффективно по причине того, что ссылка в напечатанном документе не может быть активирована. Следовательно, для этих целей можно использовать QR код. Вопросы о правильности размещения данного кода в среде конструкторов всегда были актуальны, особенно со стороны нормоконтролеров, которые часто могли отнести некорректное место установки QR кода как ошибку и вынести это на лист замечаний нормоконтролера, что обязывало разработчика чертежа вносить исправления.

В 2023 году в РФ появился ГОСТ, который давал информацию о правильности размещения QR кода. Данный ГОСТ [3] давал ответы на многие вопросы для конструкторов и тех, кто следит за правильностью оформления документации. В частности, в ГОСТе говорилось о месте установки кода. До этого ГОСТа заранее также было выпущено ряд стандартов по типу и виду QR-кода и штрихкода, правильности их обработки формирования. Т.к. данный код также может быть прочитан только при определенном качестве печати и качестве бумаги, так при формировании реквизитов части или информационно-удостоверяющего листа с помощью QR кода в основном чертеже таким образом можно дать ссылку на данную информацию, связанную с чертежом. Процесс формирования QR кода сопровождается интеграцией ссылки в код Рида-Соломона, который в госте по QR коду принят в качестве одного из подвидов. Многие компании создают собственные СТО для описания правил формирования QR кодов, перечня генераторов, и требований к ним. Генераторы используются для формирования QR кода. Так в ряде ГОСТов описываются данные по стандартизации этого вопроса [1, 2], но применимо к торговым операциям.

Также к этой области можем отнести ряд ГОСТов по штрих кодированию, что также относится к применению закодированной информации в очень сжатом формате. Данный процесс направлен на улучшение документооборота между организациями, которые внедряют электронные модели. По этой части также можно увидеть не один ГОСТ в ЕСКД, что является важным понятием перехода на части электронных версий и понятийной сущности версий, которые представляет собой пересохраненный из одной САПР в другую файл. Это важный момент, поскольку он определяет, как и когда файл был заменен, улучшен, кто являлся автором данного проекта. Кроме того, наличие ГОСТа по ИЭТРа (интерактивным руководствам) дает возможность встраивать в часть документов звуковые и медиафайлы, которые позволяют улучшить процесс понимания работы сборки в целом, дают возможность обеспечить наличие обучающего тренажера, который можно произвести из простого чертежа. Это очень ценный опыт, который касается наличия компетенций конструктора в области производства эксплуатационной документацией, являясь своего рода связующим звеном между ЕСКД и ЕСТД, так как данные звенья порой очень обрывочно выстраивают данную связь. Технологию порой представляется сложнореалистичной проекты конструктора, в числе номинальных размеров, правил производства сборки. На помощь в этом деле придут голосовые сообщения, а также скрин-касты, которые позволяют производить запись экрана с целью пояснения работы программы, иногда не поддающиеся описанию в виде бумажной инструкции. Большинство ГОСТов, которые мы наблюдаем в настоящее время, идут с припиской «электронные», это значит фактически отражается на требованиях к нормоконтролеру, который с момента появления данных стандартов не просто проверяется чертежи, технические требования и т.д. Но и отвечает за такие узкие места, как проверка качества работы гиперссылок, поиск артефактов в 3D модели, которые могут остаться после сканирования детали на 3D принтере. Например, так как при сканировании в рубез сканирования попадает не только деталь, но и окружающие ее предметы, такие как стол, лежащие рядом предметы. Данные условия являются непоколебимыми основами развития

электронной документации, которая позволяет ускорить процесс обучения сотрудников и лучше пере- сказать всю суть вопроса, касаемого непосредственно того, как идеи конструктора воплотить в реаль- ность. Этого же и добиваются современные стандарты, которые способствуют увеличению машиночи- таемых и машинопонимаемых документов из общего числа документов.

На встрече 18.12.2024, посвященной 100-летию института стандартизации, директор Института Стандартизации (ПСИ) Д. Е. Миронов говорил о реформировании стандартов, применяя OCR и XML технологии, которые используют парсинг. Этот же парсинг, разметка текста которого позволяет обща- ться машинами между собой на универсальном языке. При этом важным аспектом становится кон- вертация обычного PDF-документа в ряд сопутствующих форматов, что выгодно большинству разра- ботчиков стандарта пользуются этим форматом файлов. Важно также, что на встрече, посвященной институту стандартизации речь шла о новых стандартах ISO, которые описывают достигших совершен- ства ряда таких форматов, как PDF, давая им с 1 по 5 уровень категоричности. Последний из которых является, по сути, сэндвичем из текстовых и медиафайлов. Значимость файла совершенно меняется прежде всего потому, что файл становится неким контейнером для сборки файлов, это его новая функ- ция. Истинное лицо файла можно увидеть только в XML разметке, что позволяет говорить о наличии реквизитной части конструкторского документа.

Приложение А
(справочное)

Пример выполнения реквизитной части электронного документа

Пример выполнен на условном ЯРТ, предполагающем описание реквизитов в формате «<метка ключевого слова> значение». В качестве метки ключевого слова (дескриптора) используется рекомендуемое обозначение реквизита (см. таблицы 1 и 2).

Схема РЧ ДЭ в данном примере не приводится, но при использовании ЯРТ она должна быть разработана с учетом требований и синтаксиса конкретного языка. Для обеспечения информационного взаимодействия исполь- зуемую схему РЧ ДЭ рекомендуется размещать на информационном ресурсе разработчика ДЭ или согласовывать между организациями — участниками обращения ДЭ.

Пример —

```
<? Document requisites version= «1.0» encoding «win-125»"?>
<Requisites>
<designator> АББГ.301712.001ЭМД</designator>
<title> Стойка. Электронная модель детали </title>
<legal_owner>
  <organization_name> НПО ЗАО Pumm </organization_name>
  <organization_code> АББГ </organization_code>
</legal_owner>
<author>
  <person_name> Иванов В.П. </person_name>
  <person_role> инженер-конструктор </person_role>
  <person_department> ОБЧК </person_department>
</author>
<version> 003 </version>
<directive_ref> АББГ.001-2014</directive_ref>
```

Рис. 1. Пример реквизитной части чертежа

Так, в ГОСТ 2.104-2023 [3], который был выпущен в 2024 году, есть достаточно большой пункт, регламентирующий размещение QR кода на конструкторских документах. В пункте 5.5 говорится: «До- пускается размещать на страницах КД (и/или бумажной копии) штриховой код. Штриховой код может применятся (перечень не ограничен):

- для организации автоматизированного обращения бумажных копий ДЭ с РЧ, выполненной по ГОСТ Р 2.058 (в этом случае штриховой код содержит основные реквизиты ДЭ, которые могут быть считаны с бумажной копии автоматически);

- учета ДБ в отделе технической документации (в этом случае штриховой код содержит инвен- тарный номер ДБ, сведения о его регистрации и наклеивается на ДБ в отделе технической докумен- тации). Правила формирования, размещения и применения штрихового кода устанавливаются в стандарте организации. Для изделий, разрабатываемых по заказу государственного заказчика, эти правила со- гласуют с заказчиком (представительством заказчика)». Пример размещения кода показан в приложе- нии стандарта (рис. 2).

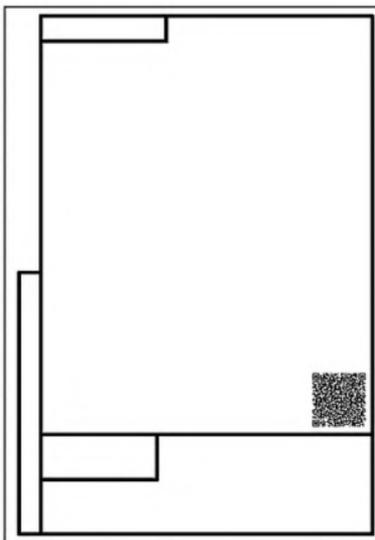


Рис. 2. Пример из ГОСТа, как размещается код на конструкторском документе

Таким образом, QR код является связкой между документом и прикрепленном файлом, который может быть представлен в виде реквизитной части, т.е. по требованию заказчика чертеж может быть в виде HTML или XML разметки, чего требует также один из новых стандартов-ГОСТ 2.058-2023 ЕСКД. Правила оформления реквизитной части электронных конструкторских документов [4].

Список источников

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 18004-2015. Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных. Спецификация символики штрихового кода QR Code. М.: Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ Р 56042-2014 Стандарты финансовых операций. Двумерные символы штрихового кода для осуществления платежей физических лиц. М.: Стандартинформ, 2014.
3. ГОСТ 2.104-2023 ЕСКД. Основная надпись. М.: Стандартинформ, 2023.
4. ГОСТ 2.058-2023 ЕСКД. Правила оформления реквизитной части электронных конструкторских документов. М.: Стандартинформ, 2023.

УДК 621.3.052

М. В. Еришов

студент кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕХА**

В статье рассмотрены основные аспекты проектирования систем электроснабжения промышленных цехов. Проведен анализ различных схем электроснабжения с учетом требований к надежности, качеству электроэнергии и экономической эффективности. На основе анализа определены факторы, влияющие на выбор оптимальной схемы электроснабжения для конкретного типа промышленного цеха.

Электроснабжение промышленных предприятий играет ключевую роль в обеспечении непрерывности и эффективности производственных процессов. Важно обеспечить требуемый промышленным цехом уровень надежности и качества электроэнергии. Выбор оптимальной схемы электроснабжения цеха является сложной задачей, требующей учета множества факторов, таких как мощность потребителей, категория надежности электроснабжения, условия окружающей среды и экономические ограничения. В данной статье проведен анализ различных схем электроснабжения с целью определения критериев выбора оптимального решения для конкретного типа промышленного цеха.

Обзор существующих схем электроснабжения промышленных цехов

В настоящее время существует несколько основных типов схем электроснабжения промышленных цехов, каждая из которых обладает своими преимуществами и недостатками [1]. К основным типам относятся (рис. 1):

1. Радиальные схемы: характеризуются независимым питанием каждого потребителя от распределительного устройства (РУ). Обеспечивают высокую надежность электроснабжения отдельных потребителей, но требуют значительных капитальных затрат на прокладку кабельных линий.
2. Магистральные схемы: характеризуются последовательным подключением потребителей к магистральной линии. Требуют меньших капитальных затрат, чем радиальные схемы, но обладают меньшей надежностью электроснабжения. При повреждении участка магистрали обесточиваются все потребители, расположенные после поврежденного участка.
3. Замкнутые схемы: представляют собой замкнутую магистраль, к которой подключены потребители. Обеспечивают более высокую надежность, чем магистральные схемы, так как при повреждении участка кольца питание потребителей осуществляется по двум разомкнутым магистральным сетям.

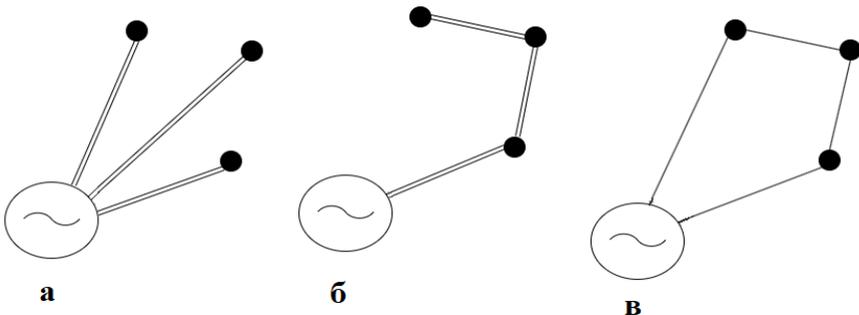


Рис. 1. Радиальная (а), магистральная (б) и замкнутая (в) схемы электроснабжения

Факторы, влияющие на выбор схемы электроснабжения

Выбор оптимальной схемы электроснабжения промышленного цеха должен основываться на всестороннем анализе следующих факторов [2]:

1. Мощность потребителей: общая мощность потребителей и распределение мощности по отдельным группам потребителей оказывают значительное влияние на выбор схемы электроснабжения и сечения кабельных линий. Для цехов с большой установленной мощностью целесообразно использовать схемы с глубоким вводом и кольцевые схемы.

2. Категория надежности электроснабжения: в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ), потребители электроэнергии делятся на три категории по надежности электроснабжения. Для потребителей первой категории необходимо обеспечить питание от двух независимых источников. В этом случае рекомендуется использовать кольцевые схемы или схемы с автоматическим вводом резерва (АВР).

3. Условия окружающей среды: условия окружающей среды (температура, влажность, запыленность, агрессивность среды) оказывают влияние на выбор электрооборудования и кабельных линий. Для цехов с агрессивной средой необходимо использовать оборудование с соответствующей степенью защиты.

4. Требования к качеству электроэнергии: качество электроэнергии (напряжение, частота, гармоники) оказывает влияние на работу электрооборудования. Для цехов оборудованием с чувствительным к качеству электроэнергии необходимо предусматривать мероприятия по компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник.

5. Экономические факторы: капитальные и эксплуатационные затраты на систему электроснабжения оказывают значительное влияние на выбор схемы электроснабжения. Необходимо учитывать стоимость оборудования, монтажных работ, потерь электроэнергии и технического обслуживания.

Анализ надежности различных схем электроснабжения

Надежность электроснабжения является одним из важнейших критериев при выборе схемы электроснабжения промышленного цеха. Радиальные и кольцевые схемы обеспечивают более высокую надежность, чем магистральные схемы [3]. Однако, для повышения надежности магистральных схем можно использовать секционирование линий и установку устройств АВР.

Анализ надежности должен включать в себя расчет показателей надежности, таких как среднее время безотказной работы и среднее время восстановления. На основе этих показателей можно оценить вероятность возникновения аварийного режима и его продолжительность.

Экономическая оценка различных схем электроснабжения

Экономическая оценка различных схем электроснабжения должна включать в себя расчет капитальных и эксплуатационных затрат. Капитальные затраты включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и проектно-изыскательских работ. Эксплуатационные затраты включают в себя затраты на электроэнергию, техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Для сравнения различных схем электроснабжения можно использовать методы экономической оценки, такие как расчет приведенных затрат, срока окупаемости и внутренней нормы доходности [4]. При этом необходимо учитывать не только прямые затраты, но и косвенные затраты, связанные с перерывами электроснабжения и потерями продукции.

Выбор оптимальной схемы электроснабжения

Выбор оптимальной схемы электроснабжения промышленного цеха является сложной задачей, требующей учета множества факторов. Для принятия обоснованного решения необходимо провести всесторонний анализ технических, экономических и эксплуатационных характеристик различных схем электроснабжения.

Для цехов высокими требованиями к надежности электроснабжения и значительной мощностью потребителей рекомендуется использовать кольцевые схемы или радиальные. Для цехов с менее вы-

сокими требованиями к надежности электроснабжения и небольшой мощностью потребителей можно использовать магистральные схемы с секционированием и АВР.

В любом случае, выбор оптимальной схемы электроснабжения должен основываться на технико-экономическом обосновании, учитывающем все особенности конкретного промышленного цеха.

В статье проведен анализ различных схем электроснабжения промышленных цехов с учетом требований к надежности, качеству электроэнергии и экономической эффективности. Определены факторы, влияющие на выбор оптимальной схемы электроснабжения для конкретного типа промышленного цеха. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании новых и реконструкции существующих систем электроснабжения промышленных предприятий.

Список источников

1. *Сумарокова Л. П.* электроснабжение промышленных предприятий. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2012. 288 с.
2. *Сибкин Ю. Д. Сибкин М. Ю. Яшков В. А.* Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М.–Берлин: Директ-Медиа, 2014. 337 с.
3. Правила устройства электроустановок (ПУЭ). 7-е изд. М.: Энергосервис, 2002.
4. *Татарникова А. Н.* Экономика энергетики: учеб. пособие для студентов направления «Электроэнергетика и электротехника» всех форм обучения. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2017. 131 с.

УДК 296.4

И. В. Жуков

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. А. Семёнова – кандидат экономических наук, доцент – научный руководитель**МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ**

Электроэнергетика, как одна из основополагающих сфер экономики, требует особого внимания к процессам, связанным с генерацией и распределением электроэнергии.

Электроэнергетика представляет собой сложную и многоуровневую систему, где рациональное управление бизнес-процессами является необходимым условием для достижения высокой эффективности и надежности поставок электрической энергии. Одним из ключевых аспектов успеха в этой области является способность предприятия адаптироваться к постоянным изменениям, происходящим в экономической и технологической среде [1]. Таким образом, моделирование бизнес-процессов позволяет не только понять текущую эффективность работы, но и выявить зоны для улучшения, риски и возможности.

Важно учитывать значительное увеличение интереса, которое наблюдается в последние годы, к методам моделирования бизнес-процессов, особенно в контексте цифровизации. А также и систему управления рисками. Риски в электроэнергетике могут быть связаны как с изменением законодательной базы, так и с неожиданными внешними факторами, такими как изменение цен на сырьевые материалы.

Методы моделирования бизнес-процессов играют важную роль в управлении современными организациями, включая предприятия электроэнергетики, где сложные и взаимосвязанные операции требуют четкой структуры и понимания [2]. Среди различных методов моделирования бизнес-процессов можно выделить 2 основных, каждый из которых обладает своими характеристиками и может быть использован в зависимости от целей и задач, стоящих перед организацией.

Первым и одним из наиболее распространенных методов является нотация BPMN (Business Process Model and Notation). Она позволяет визуализировать бизнес-процессы с помощью графических элементов, что облегчает понимание как для специалистов, так и для заинтересованных сторон. Использование этой нотации позволяет четко обозначать процессы, их последовательность и взаимодействие различных подразделений. BPMN находит широкое применение в электроэнергетике, например, для моделирования процессов управления цепочкой поставок, что значительно снижает риски и увеличивает эффективность. Также BPMN позволяет идентифицировать узкие места и проводить соответствующие улучшения, что в итоге приводит к снижению времени задержки в производственном цикле [3].

Другим значительным методом является IDEF (Integration DEfinition Method). Эта методология, в отличие от BPMN, более детализирована. Она делит процесс на более мелкие элементы, позволяя глубже изучить каждый аспект операции. Так как главной функцией этой методологии является метод декомпозиции, то есть разбиение главной функции на подфункции и дерево целей, представленное в виде взаимосвязи главной функции и подфункций [4]. Подход IDEF включает анализ функций и данных, что делает его идеальным для разработки сложных систем, характерных для крупных энергокомпаний.

В процессе моделирования бизнес-процессов в электроэнергетике возникает необходимость в сравнении различных подходов, чтобы выбрать наилучший вариант для конкретного предприятия.

Первый подход – это функциональное моделирование, использующее подходы, основанные на графах и диаграммах. Эти модели позволяют наглядно представить взаимосвязи между различными элементами процесса. Преимущества такого подхода заключаются в простоте визуализации и легкости восприятия информации. Наглядные схемы помогают быстро понять структуру процессов для как разработчиков, так и конечных пользователей. Но наряду с достоинствами, есть у этого подхода и значительные недостатки. Прежде всего, таким способом не всегда удается передать сложные алгоритмы и детали. Более того, визуальные модели могут быть недостаточно гибкими для внесения изменений без полной переработки.

Второй подход – это использование процессного моделирования, где процесс рассматривается как последовательность действий, связанных между собой. Основной приоритет такого метода – в четком описании последовательности действий. Процессные модели позволяют детализировать этапы и в случае необходимости вносить изменения на каждом этапе. Однако вопрос слежения за изменениями и их воздействием на целостность процессов остается актуальным. Сложность также может вызвать необходимость в координации между различными участниками, что иногда приводит к неэффективности в случае более масштабных процессов.

И третий, ситуационный подход концентрируется на том, что пригодность различных методов управления определяется конкретной ситуацией, то есть конкретный набор обстоятельств, которые влияют на работу предприятия в данное конкретное время. Ситуационный подход является не простым набором предписываемых руководств, а скорее способом мышления об организационных проблемах и их решениях [5].

Таким образом, в условиях изменчивого рынка электроэнергетики с высокой конкуренцией, методы моделирования бизнес-процессов становятся неотъемлемой частью стратегии управления. BPMN, благодаря своей наглядности и простоте, позволяет легко визуализировать процессы и делать их доступными для понимания не только специалистов, но и менеджеров, что способствует более эффективному взаимодействию между различными подразделениями. А IDEF0 предлагает более структурированный подход, который может быть полезен для глубокого анализа и документирования процессов, что особенно важно в условиях строгого регулирования в сфере электроэнергетики. Предприятия, которые не только применяют эти методы, но и умеют адаптировать их под свои уникальные нужды, имеют больше шансов на успех и устойчивое развитие в будущем.

Список источников

1. Сафронова А. Р., Юдина Н. А. Менеджмент в энергетике // Экономика и организация производства. 2016. С. 198–200.
2. Манжосов М. С. Разработка диаграмм «как есть» и «как будет» бизнес-процессов получения и исполнения заказа // Материалы XV Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». 2023.
3. Краткое описание нотации BPMN. URL: <https://habr.com/ru/companies/auriga/articles/667084/> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Тараскина Ю. В. Планирование реинжиниринга бизнес-процессов как инструмент управления промышленными предприятиями // Вестник Астраханского государственного университета. 2020. № 1. С. 37–47.
5. Контуровская С. С. Ситуационный подход в управлении организациями // Экономика и управление в XXI веке: тенденции развития. 2014. С. 116–121.

УДК 007.52

В. К. Задорожный

студент кафедры мехатроники и робототехники

С. А. Сериков – доктор технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Введение

Машинное обучение – это сочетание алгоритмов искусственного интеллекта, задача которых является создание самообучающихся компьютерных систем (нейросетей). Термин «Машинное обучение», введенный американским ученым-компьютерщиком Артуром Сэмюэлем в 1959 году, определяется как «способность компьютера учиться без явного программирования». Таким системам разработчики загружают готовые данные и предъявляют критерии оценивания для успешного прохождения, а не готовые алгоритмы. Благодаря им нейросеть проходит процесс обучения. В данном материале мы узнаем распространенные задачи и исследуем существующие методы машинного обучения.

История развития

Идея создания машин, имитирующих человеческий интеллект, присутствовала еще в древние времена, в мифах и легендах об автоматах и мыслящих машинах. Однако только в середине 20-го века их истинный потенциал был исследован после разработки первых электронных компьютеров.

В 1943 году Уоррен Маккалок и Уолтер Питтс смогли продемонстрировать модель собственной разработки искусственных нейронов, считавшихся первым искусственным интеллектом, хотя сам термин еще не существовал. Позже, в 1950 году, британский математик Алан Тьюринг опубликовал статью под названием «Вычислительная техника и интеллект» в журнале *Mind*, где он задал вопрос: могут ли машины мыслить? Он предложил эксперимент, который стал известен как тест Тьюринга, который, по мнению автора, позволил бы определить, может ли машина иметь разумное поведение, похожее или неотличимое от поведения человека.

Джон Маккарти ввел термин «Искусственный интеллект» (ИИ) в 1956 году и руководил разработкой первого языка программирования ИИ, LISP, в 1960-х годах. Ранние системы ИИ были ориентированы на правила, что привело к разработке более сложных систем в 1970-х и 1980-х годах, а также к росту финансирования. Сейчас ИИ переживает возрождение благодаря достижениям в области алгоритмов, оборудования и методов машинного обучения.

Еще в 1990-х годах прогресс в области вычислительной мощности и доступность больших объемов данных позволили исследователям разработать алгоритмы обучения и заложить основы для сегодняшней ИИ.

Задачи машинного обучения

В ходе множеств исследований и испытаний, машинное обучение лучше всего проявило себя в компьютерном зрении, однако для выполнения работы по-прежнему требовалось много ручного кодирования. Люди приходили и писали вручную закодированные классификаторы, такие как фильтры обнаружения краев, чтобы программа могла определить, где объект начинается и заканчивается; обнаружение формы, чтобы определить, имеет ли он восемь сторон; отдельный классификатор, чтобы распознавать слова.

Для фильтрации входящей визуальной информации и не только, существует несколько групп задач:

- Кластеризация используется для группировки наборов схожих данных (на основе определенных критериев). Это полезно для сегментации данных в несколько групп и выполнения анализа каждого набора данных для поиска закономерностей.
- Классификация – это процесс, при котором идет распределение задач по нужным категориям.

- Регрессия с математической точки зрения, это зависимость среднего значения какой-либо величины от другой величины или от нескольких величин. Благодаря ей, у компьютеров появляется возможность анализировать большие базы данных и, на основе них, делать прогнозы или предсказания.
- Сокращение размерности: Сокращение размерности уменьшает количество рассматриваемых переменных для поиска точной необходимой информации. Это сокращает время, требуемое для обработки информации и снижает требования к вычислительному оборудованию.

Типы машинного обучения

Для оптимальной работы вычислительной машины, используются различные методы конфигураций кода для выполнения узкоспециализированных задач. Это ускоряет вычисления и упрощает разработку кода.

Наивный Байесовский алгоритм – один из важнейших алгоритмов машинного обучения, помогающий решать проблемы классификации [1]. Он выведен из теории вероятностей Байеса и используется для классификации текстов, где вы обучаете многомерные наборы данных. Некоторые лучшие примеры наивного байесовского алгоритма – это сентиментальный анализ, классификация новых статей и фильтрация спама.

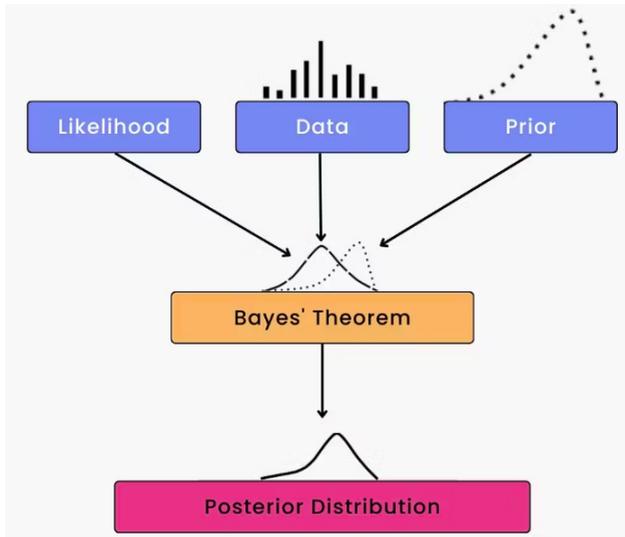


Рис. 1. Байесовский алгоритм

Алгоритмы классификации используются для категоризации новых наблюдений в predetermined classes для неинициативных данных. Наивный байесовский алгоритм известен своей простотой и эффективностью [2]. С помощью этого алгоритма быстрее строить модели и делать прогнозы. При создании любой модели МО лучше применять теорему Байеса [3].

Алгоритм К-средних определяет определенное количество центроидов в наборе данных, причем центроид является арифметическим средним всех точек данных, принадлежащих определенному кластеру [4]. Затем алгоритм распределяет каждую точку данных по ближайшему кластеру, пытаясь сохранить кластеры как можно меньшими («средние» в К-средних относится к задаче усреднения данных или поиска центроида). В то же время К-средние пытаются сохранить другие кластеры как можно более разными.

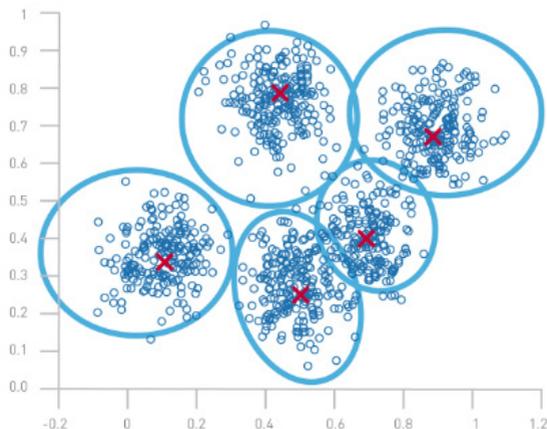


Рис. 2. Работа алгоритма К-средних

Алгоритм опорных векторов (SVM) – это алгоритм машинного обучения, который широко используется из-за его высокой производительности, гибкости и эффективности. В большинстве случаев вы можете использовать его на терабайтах данных, и это все равно будет намного быстрее и дешевле, чем работа с глубокими нейронными сетями. Машина опорных векторов (SVM) является контролируемым алгоритмом машинного обучения, который выполняет задачи классификации или регрессии путем построения разделителя, разделяющего данные на две категории. Оптимальным разделителем является тот, который находится на равном расстоянии от границ каждой группы.

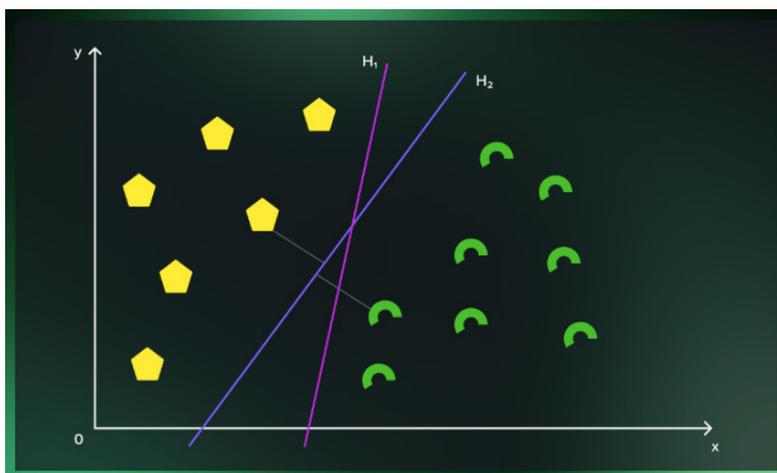


Рис. 3. Работа алгоритма опорных векторов

Регрессионный анализ является фундаментальной концепцией в области машинного обучения. Он относится к контролируемому обучению, в котором алгоритм обучается как с входными признаками, так и с выходными метками. Он помогает установить связь между переменными, оценивая, как одна переменная влияет на другую.

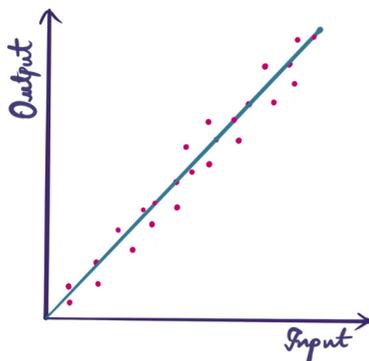


Рис. 4. Работа алгоритма регрессионного анализа

Нейронная сеть представляет собой математическую модель, в основе которой лежат нейроны (узлы), организованные в слои. Эти слои соединены между собой синапсами. В целом, такая структура, пусть и в упрощенной форме, схожа с принципом работы человеческого мозга. При поступлении данных на вход модели они проходят через несколько слоев, где происходит их обработка: например, малозначимая информация может отфильтровываться, а ключевая – передаваться на следующие этапы. У каждого нейрона есть вес, который корректируется в ходе обучения сети. Чем больше вес, тем выше степень связи между нейронами.

Deep neural network

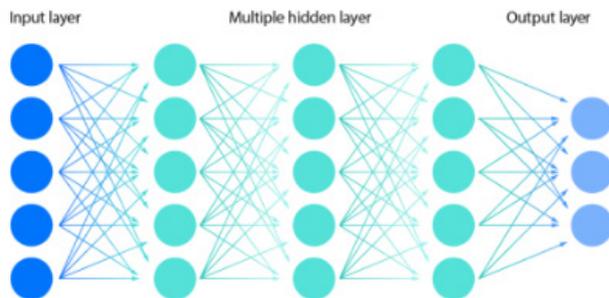


Рис. 5. Диаграмма ветвлений нейронной сети

Заключение

Машинное обучение является одной из самых быстроразвивающихся областей в информатике и искусственном интеллекте. Оно позволяет вычислительным системам автоматически развивать свои навыки на основе данных, что открывает новые горизонты для различных приложений – от распознавания образов до предсказательной аналитики. В наше время, алгоритмы машинного обучения стремительными темпами развиваются, превнося свои решения существующих проблем.

Методы машинного обучения позволяют использовать различные инструменты для анализа данных и принятия решений. Существующие подходы, такие как обучение с учителем, без учителя и с подкреплением, находят широкое применение в различных областях. Будущее машинного обучения связано с развитием более сложных моделей, улучшением их интерпретируемости и этическими аспектами использования.

Список источников

1. An Introduction to Naive Bayes Algorithm for Beginners. URL: <https://www.turing.com/kb/introduction-to-naive-bayes-algorithm-for-beginners> (дата обращения: 02.12.2024).
2. Как устроено машинное обучение: задачи, алгоритмы и виды machine learning. URL: <https://skillbox.ru/media/code/kak-ustroeno-mashinnoe-obuchenie-zadachi-algoritmy-i-vidy-machine-learning/> (дата обращения: 02.12.2024).
3. A guide to the types of machine learning algorithms and their applications. URL: https://www.sas.com/en_gb/insights/articles/analytics/machine-learning-algorithms.html#:~:text=There%20are%20four%20types%20of,%20supervised%2C%20unsupervised%20and%20reinforcement (дата обращения: 02.12.2024).
4. K-Means Clustering Algorithm. URL: <https://www.nvidia.com/en-us/glossary/k-means/> (дата обращения: 02.12.2024).

УДК.004.932

Д. А. Калашиков

студент кафедры механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета
П. А. Безмен – кандидат технических наук, доцент Юго-Западного государственного университета – научный руководитель

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ
 АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКОЙ**

Одной из основных задач исследований в области робототехники является разработка систем управления. Уже проведено много исследований систем управления наземных, водных и воздушных робототехнических систем [1–3]. Также немало создано систем автоматического управления медицинским оборудованием [4–6]. Тем не менее, анализ существующих научных работ не выявил спроектированных систем управления, предназначенных для автоматизации передвижения по улицам транспортных средств людей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ). Тем не менее, наличие таких систем управления значительно бы облегчило самостоятельное передвижение людей с ограниченными возможностями здоровья в городских условиях, а также ускорило бы их процесс реабилитации и облегчило работу сопровождающих. Целью данной работы является разработка программно-аппаратного комплекса системы автоматического управления инвалидной коляской, который позволит ей следовать за впереди идущим человеком.

Главный алгоритм работы системы отслеживания перемещения человека взят из [7]. Кратко поясним его суть: система находит на кадре заданную цветовую метку, определяет координаты ее центра, если по вычисленным координатам выходит ситуация, что метка находится в центре кадра, происходит движение вперед до достижения минимального расстояния до препятствия, если же координаты метки находятся в левой или правой частях кадра – происходит поворот объекта в нужную сторону. Параметры цветовой метки, диапазоны разделения зон кадра, а также минимальное расстояние до препятствий задаются входными параметрами данного алгоритма.

Введем кинематическую и динамическую модели рассматриваемой системы инвалидной коляски. У электрической инвалидной коляски может быть от двух до шести ведущих колес, но несмотря на их количество она все равно представляет собой механическую платформу с дифференциальным приводом. Поэтому возьмем необходимые нам динамическую (1) и кинематическую (2) модели из [8]:

$$\begin{cases} J_o \ddot{\phi}_l = M_{dl} - 0,5 \cdot mg\delta - m\ddot{x}_l r \\ J_o \ddot{\phi}_r = M_{dr} - 0,5 \cdot mg\delta - m\ddot{x}_r r \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \ddot{x}_l(y, \theta, y', \theta', l, \Delta t) = \frac{\theta' - \theta}{\Delta t} \cdot \left(\frac{y' - y}{\cos(\theta)(\cos(\theta' - \theta) + 1) - \sin(\theta' - \theta)\sin(\theta)} - \frac{l}{2} \right) \\ \ddot{x}_r(y, \theta, y', \theta', l, \Delta t) = \frac{\theta' - \theta}{\Delta t} \cdot \left(\frac{y' - y}{\cos(\theta)(\cos(\theta' - \theta) + 1) - \sin(\theta' - \theta)\sin(\theta)} + \frac{l}{2} \right) \end{cases} \quad (2)$$

где δ – коэффициент трения скольжения, m – масса коляски, r – радиус колеса, $\ddot{\phi}$ – угловое ускорение колеса, J_o – момент инерции относительно центра колеса (находится по формуле $J_o = \frac{m_k \cdot r^2}{2}$, где m_k – масса колеса).

В формуле (1) параметрами, зависящими от текущей координаты y , текущего угла ориентации θ относительно оси x , новых желаемых координаты y' и угла ориентации θ' , а также промежутка времени Δt , за который должно быть совершено перемещение и ширины колесной базы коляски l (m), является вектор линейных ускорений колес $\begin{bmatrix} \ddot{x}_l \\ \ddot{x}_r \end{bmatrix}$, который вычисляется по формулам (2).

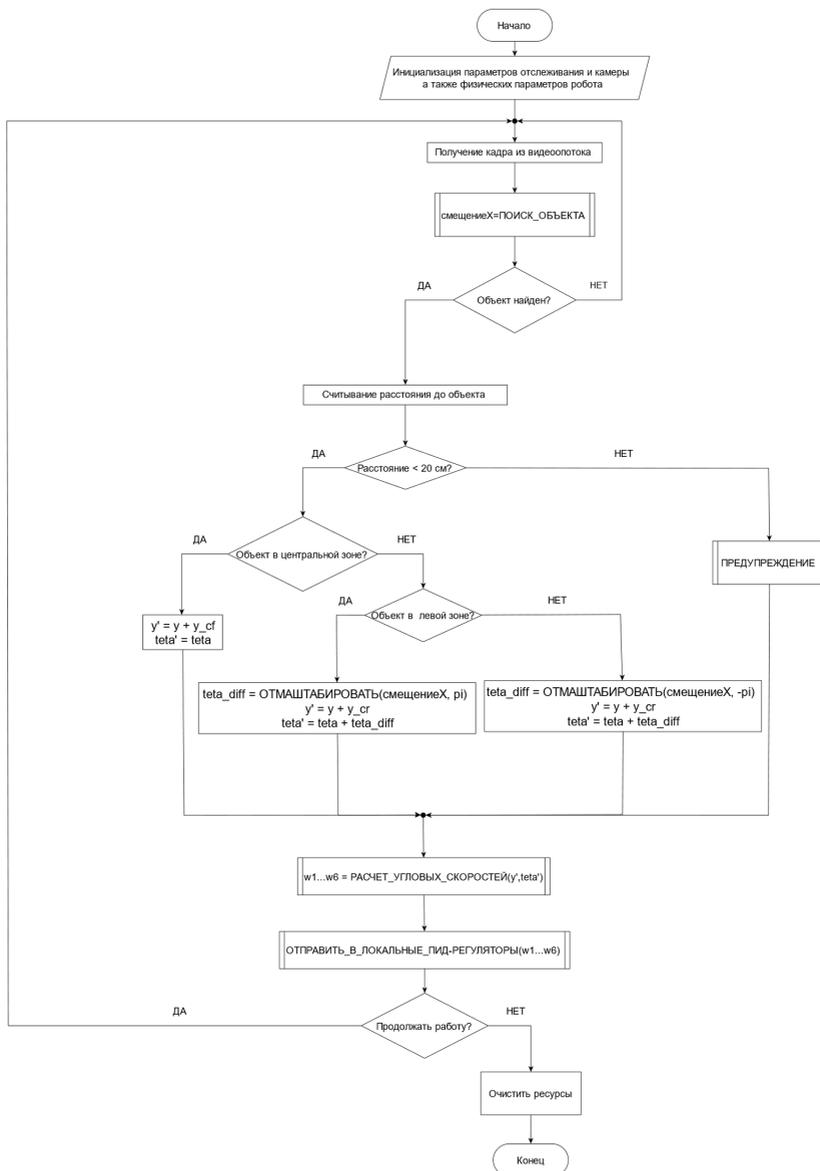


Рис. 1. Блок-схема предлагаемого алгоритма оптической САУ инвалидной коляской

Подставив уравнения из (2) в выражения из (1), можно найти суммарные моменты двигателей для каждой из сторон робота (M_{dl}, M_{dr}), которые требуются для достижения необходимой скорости.

Разделив значение суммарного момента для одной стороны на 3, получим моменты, требуемые от каждого двигателя одной стороны ($M_i; i = 1..6$). А зная $M_i; i = 1..6$ и номинальную мощность одного двигателя колес, можно легко найти желаемые угловые скорости каждой колеи ω_l, ω_r , которые затем подаются на локальные контуры управления угловыми скоростями вращения валов электродвигателей. Теперь, введя необходимые формулы кинематики и динамики рассматриваемой платформы, можно приступить к составлению полного алгоритма оптической САУ данной коляской. В начале алгоритма переменные координаты y и направления θ обнуляются, а также задается значение переменной номинальной мощности используемых приводов, механический параметр ширины коляски l , а также два коэффициента прироста y -координаты (при обычном движении вперед y_{cf} и при движении вперед с поворотом $y_{cr}, y_{cf} \gg y_{cr}$). Если отслеживаемый объект находится в центральной зоне камеры, то новое желаемое положение находится так $y' = y + y_{cf}$, а угол направления остается без изменения, если же объект находится не в центральной зоне, то новое направление находится так: $\theta' = \theta + \theta_{diff}$, где θ_{diff} – отмасштабированное в диапазон от 0 до $\pm\pi$ (в зависимости от стороны смещения) смещение по x объекта отслеживания от центральной зоны, а новая координата y находится так: $y' = y + y_{cr}$. Далее вычисленные новые желаемые координаты подставляются в кинематическую и динамическую модели устройства, по которым рассчитываются необходимые угловые скорости колес робота. Эти угловые скорости затем подаются в локальные контуры ПИД-регуляторов колес. Отобразим описанный алгоритм в виде блок-схемы (рис. 1).

На рис. 1 за функцией РАСЧЕТ_УГЛОВЫХ_СКОРОСТЕЙ скрываются формулы кинематики и динамики, описанные выше, на вход она принимает новые желаемые координаты, а на выходе возвращает рассчитанные значения угловых скоростей. Еще в этой блок-схеме есть функция ОТМАСШТАБИРОВАТЬ, которая масштабирует считанное смещение отслеживаемого объекта от центральной зоны по X в диапазон от 0 до $\pm\pi$ для вычисления нового желаемого направления. А функция ОТПРАВИТЬ_В_ЛОКАЛЬНЫЕ_ПИД-РЕГУЛЯТОРЫ передает вычисленные значения угловых скоростей в контроллер драйверов моторов для обработки.

Схематически данная САУ реализуется так: данный одноплатный компьютер подключается через свой USB (англ. *Universal Serial Bus* – «универсальная последовательная шина») к контроллеру драйверов моторов (так как готовых решений, подходящих для этих целей не выявлено, проектирование данного устройства будет рассмотрено в отдельной статье), к камере он может также подключаться через USB по переходнику или напрямую через имеющийся CSI-интерфейс.

Так как выбранный одноплатный компьютер не обладает большим ресурсом оперативной памяти, программную реализацию разработанного алгоритма было решено составить на языке C++, так как этот язык наиболее оптимально расходует память. Для задач обработки изображений будет использована библиотека OpenCV, а для доступа к интерфейсам платы RPI Zero – библиотека WiringPi.

Перейдем к аппаратной реализации, описываемой САУ. В аппаратном смысле для реализации данной САУ подойдет контроллер Raspberry Pi Zero. Это недорогой одноплатный компьютер малых габаритов. Его главные параметры (согласно [9]) приведены в табл. 1.

Далее разберем наиболее значимые фрагменты текста программы, реализующей САУ инвалидной коляской. В программе описывается структура, хранящая в себе результаты обнаружения объектов, а именно: флаг подтверждения обнаружения, а также координаты центра объекта на кадре:

```
struct detectionRes
{
    bool isFind = false;
    float cX = 0.0;
    float cY = 0.0;
    detectionRes(bool find, float cx, float cy) {
        this->isFind = find;
        this->cX = cx;
        this->cY = cy;
    }
};
```

Параметры платы Raspberry Pi Zero

Процессор	4-ядерный Broadcom BCM2835 с ядром ARM1176JZ-F
Тактовая частота	1 ГГц
Размер оперативной памяти	512 Мб
ОС	GNU Linux Raspbian
Порт для периферии:	Micro USB с OTG
Количество портов GPIO:	40
Композитный видеовыход	2 пина под распайку
Цифровой аудио/видеовыход	Mini-HDMI
Порт для камеры	MIPI CSI (22 пина, шаг 0,5 мм)
Тип карты памяти	microSD
Габариты	66x32x5 мм

Затем объявляется структура, хранящая в себе все физические параметры управляемого робота:

```
structphisParams{
    float r; //wheel radius
    float m; //robot mass
    float mk; // wheel mass
    float g = 9.81; //g
    float delta = 0.01;
    float J;
    float nominalPower = 450.0; //Watt
    float L = 0.3; // m
    int wheelCount; //wheel count
    phisParams(float R, float M, float MK, int wc, float nP=450, float l=0.3){
        this->m = M;
        this->r = R;
        this->mk = MK;
        this->nominalPower = nP;
        this->L = l;
        this->wheelCount = wc;
        this->J = (this->mk*pow(this->r,2))/2;
    }
};
```

После этого задаются точные значения отслеживаемых цветов метки в цветовом пространстве HSV и прибавочных коэффициентов для расчета перемещений робота:

```
//define detection settings and motion coefficients
// blue fon
Scalar fon_hsv_min = Scalar(43, 51, 102);
Scalar fon_hsv_max = Scalar(153, 250, 250);
// fiolet uzor
Scalar uzor_hsv_min = Scalar(38, 104, 153);
Scalar uzor_hsv_max = Scalar(200, 153, 200);
int minUzorArea = 1000;
int defineRightLim = 450;
int defineLeftLim = 180;
float y_cf = 1.0;
float y_cr = 0.1;
```

float safatyDist = 20;

Следующими задаются вспомогательная функция для сравнения площади контуров и основная функция поиска цветовой метки на кадре:

```
// define function for compare object's contour areas
bool compareContourAreas ( std::vector<Point> contour1, std::vector<Point> contour2 ) {
    double i = fabs( contourArea(Mat(contour1)) );
    double j = fabs( contourArea(Mat(contour2)) );
    return ( i < j );
}
// define main detection function
detectionRes findObject(Mat inputFrame){
    detectionRes r(false, 0.0, 0.0);
    Mat hsv, thresh, thresh2;
    cvtColor(inputFrame, hsv, COLOR_BGR2GRAY);
    inRange(hsv, for_hsv_min, for_hsv_max, thresh);
    vector<vector<Point> > contours;
    vector<Vec4i> hierarchy;
    findContours(thresh, contours, hierarchy, RETR_TREE, CHAIN_APPROX_SIMPLE);
    sort(contours.begin(), contours.end(), compareContourAreas);
    Rect bR = boundingRect(contours[0]);
    inRange(hsv, uzor_hsv_min, uzor_hsv_max, thresh2);
    Mat uzorThresh = thresh2(bR);
    contours.clear();
    hierarchy.clear();
    findContours(uzorThresh, contours, hierarchy, RETR_TREE, CHAIN_APPROX_SIMPLE);
    sort(contours.begin(), contours.end(), compareContourAreas);
    if ((contours.size() > 0)&&(contourArea(contours[0]) >= minUzorArea)){
        r.isFind = true;
        r.cX = (bR.x + bR.width)/2;
        r.cY = (bR.y + bR.height)/2;
    }
    return r;
}
}
```

Затем создаются три функции, в которых, на основании представленных формул кинематики и динамики, производится основной перерасчет координат робота в угловые скорости его колес:

```
// define function for accelerations calculation
float Al(float y, float teta, float yN, float tetaN, long dt, phisParams phP){
    return ((tetaN-teta)/dt)*(((yN-y)/(cos(tetaN-teta)*cos(teta)+cos(teta) - sin(tetaN-teta)*sin(teta))) -
    phP.L/2);
}
float Ar(float y, float teta, float yN, float tetaN, long dt, phisParams phP){
    return ((tetaN-teta)/dt)*(((yN-y)/(cos(tetaN-teta)*cos(teta)+cos(teta) - sin(tetaN-teta)*sin(teta))) +
    phP.L/2);
}
```

После представленных фрагментов текста программы следует основная функция работы программы – функция *main*, в которой сначала происходит инициализация камеры и периферии контроллера, а затем начинается основной цикл отслеживания, расчета координат и угловых скоростей и отправка их в драйвер моторов на обработку. Также в коде программы предусмотрена секция для графического отображения результатов работы программы в случае отладки.

Главным преимуществом разработанного в статье алгоритма является его простота, скорость работы и низкое потребление вычислительных ресурсов, что позволит реализовать САУ на его основе

даже на таком слабом контроллере, как Raspberry Pi Zero. Главным же недостатком данной программы является сильная зависимость от правильности восприятия цветowych маркеров. В зависимости от уровня освещения, при слишком узких настроенных диапазонах цветов, программа может работать некорректно, что делает ее настройку сложнее. Решить эту проблему возможно или выбором ярких и контрастных цветов для маркера и фона или введением в систему поиска объекта дополнительного фильтра, возможно, с использованием глубоких нейронных сетей.

Исследование выполнено при поддержке Стратегического проекта «Приоритет-2030. Создание робототехнических средств для расширения функциональности человека».

Список источников

1. Яцун С. Ф., Безмен П. А., Лосев Ю. Ю. Экспериментальное исследование движения вибрационного мобильного робота с внутренней подвижной массой // Вибрационные машины и технологии: сб. научных трудов по материалам VIII научно-технической конференции. Курск: КурскГТУ, 2008. С. 763–770.
2. Автономный подводный плавающий робот с геопозиционированием / [С. Ф. Яцун и др.] // Вибрационные технологии, мехатроника и управляемые машины: сб. научных статей по материалам XII международной научно-технической конференции: 2016. С. 288–299.
3. Control features of the electromechanical system with end-effector considering the regulated torque / [A. Malchikov et al.] // MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2017. Vol. 113. P. 02001.
4. Экзоскелет с биотехнической обратной связью для вертикализации пациентов / [Н. А. Корневский и др.] // Медицинская Техника. № 4. 2017. С. 42–45.
5. Синтез параметров регулятора экзоскелета, с использованием LPT-последовательностей / [С. Ф. Яцун и др.] // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Техника и технологии». 2015. № 4(17). С. 24–31.
6. Артеменко М. В., Краснолицева Д. В., Калугина Н. М. Иммункомпьютинг как инструмент анализа биомедицинских сигналов // Научный медицинский вестник. 2016. № 4(6). С. 6–11.
7. Калашников Д. А., Безмен П. А. Разработка программного обеспечения для оптической системы следования за объектом // Инновационное приборостроение. Т. 3. № 3. 2024. С. 67–70.
8. Джозеф Л. Изучение робототехники с помощью Python / пер. с англ. А. В. Корягина. М.: ДМК Пресс, 2019. 250 с.
9. Характеристики одноплатного компьютера Raspberry Pi Zero. URL: <https://amperka.ru/product/raspberry-pi-zero> (дата обращения: 10.10.2024).

УДК 004.8

Д. И. Курсанов

ученик 9-го класса ГБОУ лицей № 486

М. А. Монахов – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

В современном мире объемы данных растут с каждым днем, и их анализ становится все более сложной задачей. Нейронные сети, как одна из ключевых технологий в области искусственного интеллекта, играют важную роль в обработке и анализе больших данных. В этой статье мы рассмотрим, как нейронные сети помогают справляться с вызовами, связанными с большими данными, и какие преимущества они предлагают.

Большие данные (Big Data) – это термин, который описывает огромные объемы данных, которые не могут быть эффективно обработаны с помощью традиционных методов обработки данных. Эти данные могут быть структурированными (например, базы данных) и неструктурированными (например, текст, изображения, видео). Основные характеристики больших данных часто описываются как 3V: объем (Volume), скорость (Velocity) и разнообразие (Variety) [1].

Нейронные сети – это вычислительные модели, вдохновленные работой человеческого мозга. Они состоят из узлов (нейронов), которые соединены между собой и могут обрабатывать информацию. Нейронные сети обучаются на больших объемах данных, что позволяет им выявлять сложные паттерны и зависимости [2].

Нейронные сети прекрасно справляются с большим объемом данных, потому что они способны выявлять закономерности и скрытые связи в сложных наборах данных. Например, в медицине нейронные сети могут анализировать медицинские изображения и выявлять признаки заболеваний, которые не видны человеческому глазу. В бизнесе нейронные сети помогают прогнозировать спрос на товары и оптимизировать продажи, анализируя поведение клиентов.

Применение нейронных сетей в анализе больших данных [3]

1. Обработка изображений и видео: в нейронных сетях используются специальные архитектуры, такие как сверточные нейронные сети (CNN), которые идеально подходят для анализа изображений и видео. Эти сети могут распознавать объекты на фотографиях, анализировать медицинские снимки (например, МРТ), распознавать эмоции на лицах людей в видео.

2. Обработка текста и естественного языка: рекуррентные нейронные сети (RNN) и трансформеры (например, GPT) могут анализировать большие массивы текста, выполнять переводы, генерировать текст, а также отвечать на вопросы и классифицировать документы. Это значительно ускоряет и улучшает обработку информации, поступающей в текстовом виде.

3. Прогнозирование и анализ временных рядов: нейронные сети широко применяются для прогнозирования на основе данных, собранных в виде временных рядов. Например, в финансовой сфере нейронные сети могут прогнозировать изменения котировок акций, в энергетике – потребление электроэнергии, а в медицине – вспышки заболеваний.

4. Обнаружение аномалий и мошенничества: нейронные сети также используются для обнаружения аномалий в данных, таких как мошенничество в финансовых операциях. Это позволяет своевременно выявлять подозрительные действия и предотвращать возможные потери.

Преимущества использования нейронных сетей [4]

1. Обработка неструктурированных данных. Большие данные часто содержат неструктурированную информацию, такую как текст, изображения и видео. Нейронные сети, особенно сверточные и рекуррентные, прекрасно справляются с анализом таких данных, извлекая из них полезную информацию.

2. Автоматизация анализа. Нейронные сети способны автоматически обучаться на данных, что снижает необходимость в ручной настройке и предварительной обработке. Это позволяет аналитикам сосредоточиться на интерпретации результатов, а не на подготовке данных.

3. Выявление сложных закономерностей. Нейронные сети могут обнаруживать скрытые зависимости в данных, которые могут быть неочевидны при использовании традиционных методов анализа. Это особенно полезно в таких областях, как финансы, медицина и маркетинг.

4. Масштабируемость. Нейронные сети хорошо масштабируются для обработки огромных объемов данных. Современные архитектуры, такие как глубокие нейронные сети, могут эффективно использовать распределенные вычисления, что позволяет обрабатывать данные в реальном времени.

Сравнение с традиционными методами обработки данных

Традиционные методы обработки больших данных, такие как алгоритмы машинного обучения и статистические методы, имеют свои преимущества, но также и ограничения. Вот некоторые ключевые отличия:

1. Методы обработки. Традиционные методы обычно требуют жестко структурированных данных и могут быть ограничены по сложности. Искусственный интеллект же способен работать с неструктурированными данными за счет адаптивности и способности к самообучению.

2. Анализ данных. Традиционные методы, как правило, требуют предварительного понимания структуры данных и явных критериев для построения модели. Для обучения модели в традиционных методах часто требуется минимальное количество данных, но они ограничены в своей способности выявлять сложные закономерности. Искусственный интеллект использует более сложные алгоритмы, которые могут анализировать огромные объемы данных и выявлять скрытые закономерности без предварительного знания структуры данных. Например, нейронные сети могут обучаться на миллиардах точек данных и адаптироваться к изменяющимся условиям без необходимости вручную подбирать параметры.

3. Масштабируемость. Обработка с помощью традиционных методов не всегда хорошо масштабируется при увеличении объема данных. Большие объемы информации могут привести к перегрузке традиционных алгоритмов, что замедляет обработку. Алгоритмы искусственного интеллекта, особенно глубокое обучение, могут эффективно масштабироваться для работы с большими. Глубокие нейронные сети могут обрабатывать данные параллельно и использовать распределенные вычисления для повышения производительности.

4. Время и ресурсы. Традиционные методы обычно быстрее в обучении и применении, поскольку они менее сложны и не требуют больших вычислительных мощностей. Однако они могут быть менее точными при работе с большими объемами и сложными типами данных. требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при использовании моделей глубокого обучения. У искусственного интеллекта обучение моделей может занять много времени и потребовать использования специализированного оборудования, такого как графические процессоры (GPU) или распределенные вычислительные сети.

5. Точность и гибкость. Традиционные методы могут быть ограничены в точности, особенно при работе с неструктурированными или сложными данными. Однако они могут быть очень эффективными для более простых задач с заранее известной структурой данных. Искусственный интеллект может обеспечить более высокую точность и гибкость при анализе данных, особенно когда речь идет о задачах с высокой степенью неопределенности или сложности. Например, ИИ в области обработки изображений, естественного языка или прогнозирования имеет преимущества перед традиционными методами.

Основываясь на вышесказанном, можно сделать вывод, что традиционные методы подходят для относительно небольших объемов данных, в которых заранее известны закономерности или можно использовать простые математические модели.

Искусственный интеллект становится предпочтительным в случае с большими данными, когда необходимо выявлять сложные закономерности, работать с неструктурированными данными и решать задачи, требующие высокой точности и гибкости. Искусственный интеллект может значительно расширить возможности обработки данных, но его внедрение связано с большими требованиями к ресурсам и более сложными алгоритмами, в отличие от традиционных методов.

Список источников

1. *Абрамов, С. М., Иванова Т. А.* Методы обработки больших данных на основе нейронных сетей. М.: Инфра-М, 2022. 240 с.
2. *Васин П. Н.* Нейронные сети в задачах анализа данных. СПб.: БХВ-Петербург, 2021. 304 с.
3. *Глухов В. В., Петров А. А.* Анализ больших данных с использованием глубоких нейронных сетей. Казань: Изд-во КГУ, 2020. 180 с.
4. Big data. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Big_data (дата обращения: 12.03.2025).

УДК 631.5

А. Р. Климова

студент кафедры механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета

М. П. Щербакова – преподаватель Юго-Западного государственного университета – научный руководитель**К ВОПРОСУ РОБОТИЗАЦИИ АГРОИНДУСТРИИ В РОССИИ**

Сельское хозяйство – это отрасль экономики, занимающаяся производством пищевых и иных продуктов из растений и животных [1]. Основные направления которого:

- растениеводство, заключающееся в выращивании зерновых культур, овощей и фруктов;
- животноводство, цель которого разведение скота, птицы, рыбы.

Эта сфера является ключевым источником продовольствия для человечества и обеспечивает сырьем пищевую и текстильную отрасли промышленности, создает рабочие места для населения.

Снижение населения сельской местности, повышения спроса на продукты питания, а также проблема урожайности – основные причины внедрения роботов в сельское хозяйство, в частности в сектор растениеводства.

Создание роботов для данного сектора, например, для удобрения почвы, решает такие проблемы, как:

1. Неравномерное внесение удобрений (неоправданно высокие их дозы снижают урожайность культур, ухудшают качество продукции, загрязняют окружающую среду);
2. Неправильное применение удобрений (ухудшает агрохимические свойства почв, снижает плодородие);
3. Избыточное внесение удобрений (загрязнение водоемов нитратами, сульфатами, хлоридами и другими со-единениями);
4. Нарушение оптимального питания растений макро- и микроэлементами (различные заболевания растений, ухудшается фитосанитарное состояние почв и посевов).

Использование роботов в агроиндустрии приведет к сокращению ручного труда и повышению урожайности. Конструкционные особенности в совокупности с аппаратной и программной реализацией значительно повысит производительность труда, снизит численность рабочего и обслуживающего персонала, улучшит условия труда, увеличит производительность, снизит уровень брака, повысит эффективность ведения технологических процессов, снизит пагубное влияние на экологическую среду.

Рассмотрим диаграмму, описывающую зависимость количества роботов на предприятиях (рис. 1), как мы видим, с каждым годом число роботов на заводах растет, что говорит о том, что тема роботизации очень актуальна и увеличение роботов решает многие проблемы.

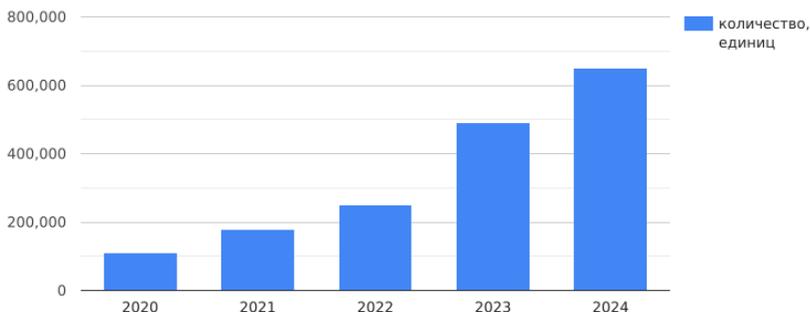


Рис. 1. Зависимость количества роботов на предприятиях

Рассмотрим существующий пример робота для удобрения почвы – DJI Agras T30 (рис. 2), который является флагманским сельскохозяйственным дроном, но России подобных существующих устройств на настоящий момент нет. Данная модель оснащена баком объемом 30 л, массой полезной нагрузки – до 30 кг, производительность при обработке посевов ядохимикатами и жидкими удобрениями – до 16,1 га/ч. Дрон оснащен приемником RTK (Real Time Kinematic), радаром кругового обзора и улучшенной системой визуального обнаружения [2].



Рис. 2. DJI Agras T30

DJI Agras T30 поднимает эффективность авиахимработ. T30 помогает снизить расход удобрений и повысить урожайность эффективным способом за счет оперативного сбора. Agras T30 способен обрабатывать густые кроны при наклонном опрыскивании, обеспечивая равномерную адгезию жидких пестицидов и увеличивая количество капель, достигающих цели.

Не смотря на вышеперечисленные достоинства данного робота, у него также имеется достаточно существенный недостаток: сильное влияние погодных условий. Любые осадки и ветреная погода приводят к тому, что часть поля остается без удобрения [3]. Также нет возможности точечного удобрения для корневой подкормки, которое необходимо для многих культур [4].

Далее представлена сводная таблица характеристик некоторых других существующих устройств для удобрения почвы (табл. 1) [5].

Таблица 1

	DJI Agras T30	АГРОБОТ	BoniRob
Производитель	Китай	Россия	Германия
Компания	DJI	Открытая робототехника	Bosch
База	Летательный	Колесный	Колесный
Мощность	7 кВт	2,5 кВт	3 кВт
Время автономной работы	20.5 мин	2 ч	8 ч
Скорость	5 м/с	1 м/с	1 м/с
Доступность в России	Высокая, 1700 000р	Массово не производится	Не поставляется в Россию

В связи с тем, что на российском рынке не хватает отечественных устройств способных составить конкуренцию китайскому DJI Agras T30, то существует необходимость в создании робота, который будет лишен перечисленных ранее недостатков. Предлагаемый вариант – наземный робот для удобрения почвы (рис. 3).

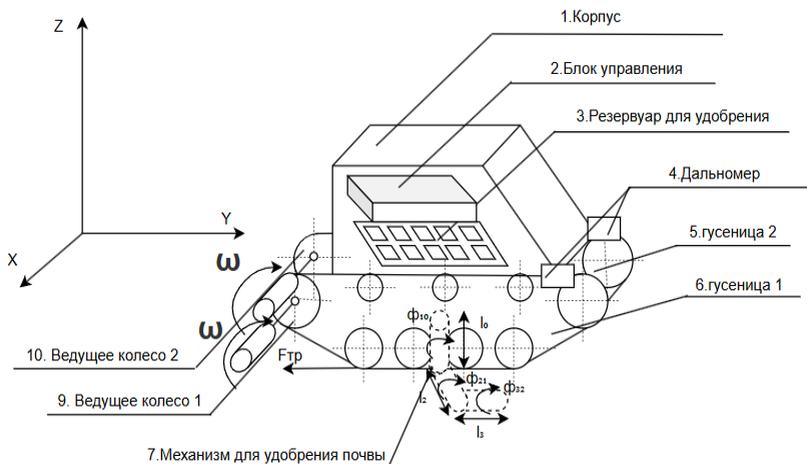


Рис. 3. Функциональная схема робота

Данный робот представляет собой гусеничную платформу с приводом на каждую гусеницу, а также с встроенным манипулятором для удобрения почвы «под корень».

Робот будет оснащен такими датчиками как: GPS, дальномеры, энкодеры, камеры, лидар. Плюсы представленного устройства заключаются в его автономности, времени работы без подзарядки ориентировочно 3 часа, наличие ДОК-станции, более низкая цена по отношению к другим подобным устройствам. введение удобрения сразу в почву. Гусеничная платформа увеличит проходимость и снизит влияние погодных условий.

Рассмотрим принцип работы данного устройства. На рис. 4 представлена траектория движения предлагаемого робота на примере среднестатистического засеянного картофелем поля.

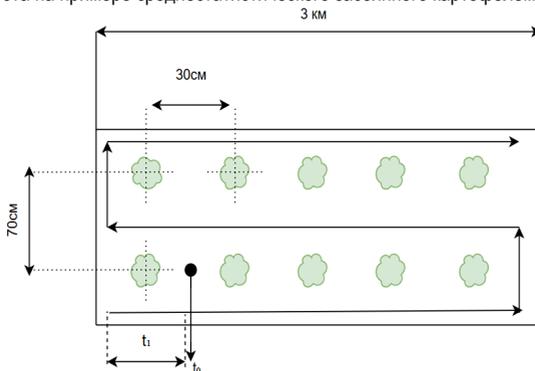


Рис. 4. Траектория движения

Принцип работы предлагаемого устройства следующий: робот движется между грядок, по прямой, останавливаясь около кустов растений для их удобрения. Во время остановки активируется трехзвенная манипуляторная система, осуществляющая точечное удобрение каждого растения. Таким образом, продолжая движение, робот достигает конца грядки, останавливается, поворачивается на 90 градусов, доезжает до начала новой грядки, вновь поворачивается и продолжает свое движение, про-

изводя удобрение. Если у робота заканчивается удобрение или садится аккумулятор, то он, проезжая между грядок, движется к ДОК-станции или на базу где оператор восполняет запас удобрения.

Список источников

1. АПК Эксперт. Робототехника в сельском хозяйстве: виды и применения. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/robototekhnika-v-selskom-khozyaystve-vidy-i-primeneniya/> (дата обращения: 15.12.2024).
2. DJI Agras T30 – Новый цифровой флагман для сельского хозяйства. URL: <https://www.dji.com/ru/t30> (дата обращения: 15.12.2024).
3. Официальный сайт компании «Эконива». URL: <https://ekoniva-ark.ru/?ysclid=m667rx5yh3476974112> (дата обращения: 17.12.2024).
4. Официальный сайт компании «Агробот». URL: <https://www.agrobot.com/> (дата обращения: 16.12.2024).
5. Официальный сайт Министерства сельского хозяйства. URL: <https://mcx.gov.ru/?ysclid=m667x7ivz2143560822> (дата обращения: 15.12.2024).

УДК 621.316

К. Е. Комин, Ю. Р. Поваренных

студенты кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЯЧЕЙКИ
КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ**

В настоящее время электроэнергия от электростанции до потребителя передается на большие расстояния. Передача электроэнергии происходит через воздушные и кабельные линии электропередач. Распределение электроэнергии производится с помощью распределительных подстанций открытого и закрытого типа, оснащенных защитно-коммутационными устройствами (ЗКУ). Распределение электричества требует измерения и контроля как для обеспечения безопасности, так и для коммерческого учета потребления электрической энергии.

В данной статье рассматриваются приборы измерения и учета для различных характеристик электрической энергии в распределительных шкафах комплектных распределительных устройств (КРУ) напряжением 6 и 10 кВ.

Шкафы КРУ предназначены для приема и распределения электрической энергии и применяются для комплектования распределительных устройств станций и подстанций. Измерение напряжения в КРУ играет ключевую роль в обеспечении безопасности и качества электроэнергии. В большинстве случаев для измерения используются трансформаторы напряжения (ТН) в литом исполнении (рис. 1). Принцип работы трансформаторов напряжения заключается в преобразовании поступающего напряжения в выходное меньшего значения путем индукции магнитного поля катушек [1].



Рис. 1. Трансформатор напряжения

Альтернативой ТН является трансформатор напряжения измерительный электронный (рис. 2), который фиксирует напряжения через электрод связи. Электрод связи представляет из себя изолятор с электронной начинкой, который изменяет напряжение с определенным коэффициентом. Блок преобразователя принимает напряжение с электрода и преобразует его в сигнал с информацией о текущем значении напряжения [2].



Рис. 2. Трансформатор напряжения измерительный электронный

Для измерения тока в шкафах КРУ используют измерительные трансформаторы тока (ТТ) в литом исполнении (рис. 3) [1].



Рис. 3. Измерительный трансформатор тока

Электронный трансформатор тока (рис. 4) предназначен для измерения тока в распределительных устройствах (РУ) класса напряжения 6-10 кВ и использования в цепях коммерческого учета. Трансформатор может подключаться к амперметру, счетчику или анализатору качества электрической энергии или использоваться как датчик в прочих электронных системах учета и измерения параметров электрической сети [2].

Трансформатор имеет гальваническую развязку 1,5 кВ между измерительными цепями и вспомогательным источником питания.



Рис. 4. Электронный трансформатор тока

Немаловажную роль в составе КРУ играет заземляющий разъединитель (рис. 5). Он нужен для обеспечения безопасности различных работ, производимых на обесточенном участке цепи. Токоведущий контур заземляется только при отсутствии напряжения [3].

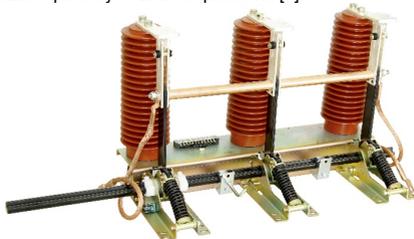


Рис. 5. Заземляющий разъединитель

Помимо средств измерения показателей электрической энергии шкафы КРУ должны комплектоваться системами защиты, которые при выявлении неисправности отключают питание от ячейки для обеспечения безопасности.

Одним из видов защит является защита по току утечки. Для обнаружения утечки фазы на землю в современных ячейках применяют трансформатор тока нулевой последовательности (ТТНП), представленный на рис. 6. ТТНП улавливает сигнал нулевой последовательности, который возникает при токовой асимметрии в проводниках. Далее сигнал передается на устройство управления, которое отключает питание от неисправной ячейки [3].



Рис. 6. Трансформатор тока нулевой последовательности

Защита от коммутационных и грозовых скачков напряжения в цепи осуществляется с помощью ограничителя перенапряжений (ОПН), представленный на рис. 7. ОПН поглощает перенапряжение и рассеивает его тепловой энергией в окружающую среду благодаря изменению своего сопротивления и включению варисторов [1].

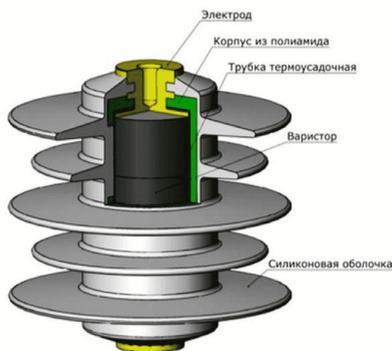


Рис. 7. Ограничитель перенапряжения в разрезе

Не менее важной системой защиты является дуговая. Она обеспечивается с помощью устройства дуговой защиты (УДЗ), представленный на рис. 8. УДЗ с помощью оптических датчиков улавливает открытую электрическую дугу, появляющуюся вследствие возникновения короткого замыкания в электрической цепи. При появлении световой вспышки от электрической дуги и подтверждении МТЗ/ЗМН с выходных ключей выдается команда на отключение силовых электрических цепей [2].



Рис. 8. Устройство дуговой защиты

В данной статье рассмотрено основное высоковольтное измерительное и защитное оборудование ячейки КРУ. Обозначены принципы работы различных ЗКУ со схожим функционалом. Таким образом, перспективы развития КРУ как одного из важнейших элементов электрической сети включают в себя следующие ключевые направления:

1. Внедрение искусственного интеллекта и машинного обучения для более точного анализа данных и прогнозирования аварийных ситуаций в электрической сети;
2. Разработка систем, которые позволяют автоматизировать процессы управления и мониторинга, что повышает эффективность работы ЗКУ;
3. Интеграция ЗКУ с IoT-устройствами для обеспечения удаленного мониторинга и управления энергоснабжением;
4. Снабжение современных КРУ системами, направленными на обеспечение безопасности данных и защиту от кибератак в связи с ростом цифровизации в электрических сетях для повышения устойчивости к киберугрозам.

Эти направления помогут усовершенствовать защитно-коммутационные устройства, применяемые в современных КРУ и повысить их надежность и функциональность.

Список источников

1. *Дорошев К. И.* Комплексные распределительные устройства 6-35 кВ. Энергоиздат. 376 с.
2. ТЕРМА-ЭНЕРГО. URL: <https://termaenergo.ru/> (дата обращения: 10.03.2025).
3. ГОСТ Р 55190-2022. Устройства комплексные распределительные в металлической оболочке (КРУ) на номинальное напряжение до 35 кВ. Общие технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/79345/> (дата обращения: 10.03.2025).

УДК 004.855.5+004.855.3

А. Р. Корниенко

студент кафедры электромеханики и робототехники

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

ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Введение

Развитие технологий и растущие потребности общества обуславливают неотложную необходимость в инновационных подходах к управлению и оптимизации энергопотребления. В контексте создания программного обеспечения для предиктивной аналитики энергопотребления, электроэнергетика выходит на передовые позиции среди важнейших отраслей современной индустрии.

Цифровые технологии становятся фундаментальным фактором перемены в управлении энергетическими системами. Этот переход не только отражает технологический прогресс, но и устанавливает новые стандарты эффективности, устойчивости и управляемости ресурсов энергоснабжения.

Настоящее введение предлагает обзор существующих аспектов энергетики, выделяя проблемы, которые присущи традиционным системам, и обращая внимание на перспективы, открывающиеся при разработке программного обеспечения на базе методов искусственного интеллекта для предиктивной аналитики энергопотребления. Эта статья направлена на предоставление всеобъемлющего обзора и анализа ключевых аспектов, охватывающих широкий спектр изменений в энергетической отрасли в период цифровой трансформации.

Методы предиктивной аналитики в энергетике

Современная энергетика сталкивается с такими вызовами, как увеличение энергопотребления, внедрение возобновляемых источников энергии и требование повышения эффективности систем. Прогнозная аналитика, основанная на методах машинного обучения (МО) и искусственного интеллекта (ИИ), является ключевым фактором в достижении этих задач. Давайте рассмотрим современные подходы и проведем методы анализа МО и ИИ, применяемые в энергетической области.

Современные подходы к прогнозной аналитике энергопотребления:

1. Использование временных рядов:

- ARIMA (autoregressive integrated moving average) – авторегрессионное интегрированное скользящее среднее) – метод, предназначенный для анализа временных рядов, который позволяет прогнозировать будущее энергопотребление с учетом трендов и сезонных колебаний;
- экспоненциальное сглаживание – техника, при которой вес различных периодов времени изменяется экспоненциально, последние данные и делают прогноз более чувствительным к изменениям.

2. Оптимизация с использованием алгоритмов:

- генетические алгоритмы – методы эволюционной оптимизации, используемые для нахождения оптимальных стратегий управления энергопотреблением и затратами;
- методы оптимизации стохастического программирования – учет случайных воздействий для более точного планирования физических систем.

3. Интеграция данных о погоде:

- метеорологические данные – использование данных о погоде для более точного прогнозирования энергопотребления, учета влияния температуры, влажности и других факторов;
- прогнозирование на основе данных о климате – учет долгосрочных климатических тенденций при разработке стратегий управления энергоснабжением.

Проведем анализ методов машинного обучения и искусственного интеллекта применительно к решению электроэнергетических задач.

Машинное обучение базируется на основе следующих методов:

- линейная регрессия – метод, позволяющий выявить линейные зависимости между различными переменными, что позволяет делать прогнозы на основе полученных данных;
- метод опорных векторов применяется для решения задач классификации и регрессии, что полезно при оптимизации процессов в комплексе;
- нейронные сети – продвинутый метод, который использует структуру нейронных сетей для описания простой зависимости и тенденции к динамике энергопотребления.

Искусственный интеллект:

- обработка естественного языка – анализ текстовых данных, таких как новости и отчеты, для понимания событий на энергетических рынках;
- системы поддержки принятия решений (экспертные системы) – использование экспертных систем для оптимизации управленческих решений в энергетике на основе опыта и знаний экспертов.

Прогнозная аналитика, опирающаяся на современные методы МО и ИИ, предоставляет инструменты для более эффективного управления энергопотреблением. Анализ временных рядов, оптимизация с использованием алгоритмов, интеграция данных о погоде, а также методы МО и ИИ являются ключевыми составляющими для создания устойчивых и эффективных систем управления, применение которых позволит снизить расходы на организацию каналов связи.

Особенности применения предиктивной аналитики в энергетической отрасли

Наиболее значимым показателем в энергетических системах является баланс мощности, который достигается путем грамотного распределения и потребления энергетических ресурсов. Современные информационные технологии, основанные на методах предиктивной аналитики, позволяют осуществлять гибкое энергоснабжение потребителей с учетом обеспечения технико-экономических показателей, что обеспечивает:

- оптимизацию расписания обслуживания оборудования. Многие энергетические компании успешно используют предиктивную аналитику для оптимизации расписания технического обслуживания оборудования. Посредством анализа данных о работе агрегатов и применения моделей машинного обучения предсказываются периоды возможных сбоев или неисправностей. Это позволяет проводить техническое обслуживание в оптимальные моменты, минимизируя простои и снижая затраты на ремонт;
- прогнозирование потребления энергии в реальном времени. Алгоритмы анализируют данные о текущих условиях, включая погодные факторы, дни недели, и даже мероприятия в регионе, чтобы предсказать пиковые и низкие нагрузки. Это позволяет энергетическим компаниям эффективно управлять производством и распределением энергии;
- предотвращение аварий и улучшение надежности сети. Путем анализа данных о состоянии электрических сетей и использовании алгоритмов машинного обучения предиктивная аналитика помогает предотвращать возможные аварии. Алгоритмы выявляют аномалии и предсказывают потенциальные проблемы, позволяя операторам сети предпринимать меры по предотвращению отказов и улучшению надежности энергосистем.

Благодаря применению предиктивных моделей на предприятиях энергетической отрасли осуществляется оптимизация в энергопотреблении и обеспечиваются следующие показатели:

- экономия ресурсов. Предиктивная аналитика помогает компаниям эффективно использовать энергоресурсы, предсказывая временные пики и спады потребления. Это позволяет экономить электроэнергию в периоды низкого спроса и обеспечивать достаточное предложение в периоды пикового спроса;
- снижение затрат на техническое обслуживание. Применение предиктивной аналитики в техническом обслуживании оборудования позволяет предсказывать неисправности до их возникновения, что снижает затраты на ремонт и обслуживание;
- увеличение надежности электроснабжения и оптимизация работы системы в реальном времени. Применение предиктивной аналитики в режиме реального времени позволяет операторам энергосистем принимать мгновенные решения для оптимизации работы сети, учитывая текущие условия и потребности потребителей;

- снижение негативного воздействия на окружающую среду. Предсказание пиковых нагрузок и оптимизация работы энергосистем способствуют более эффективному использованию ресурсов, что в конечном итоге снижает негативное воздействие на окружающую среду.

Заключение

Предиктивная аналитика в энергетике становится неотъемлемым фактором для оптимизации работы и эффективного управления ресурсами. Алгоритмы анализа данных и методы машинного обучения помогают компаниям энергетической отрасли прогнозировать и оптимизировать потребление энергии, снижать затраты на техническое обслуживание оборудования и повышать надежность сетей. Оперативное реагирование на потенциальные проблемы, оптимизация работы систем в реальном времени и учет текущих условий позволяют эффективно управлять энергетическими системами. Кроме того, предиктивная аналитика способствует экономии ресурсов, снижению негативного воздействия на окружающую среду и обеспечивает более устойчивое функционирование энергетической отрасли в целом. Ее применение является важным шагом в создании эффективных, устойчивых и оптимизированных энергетических систем.

Список источников

1. Платформа для разработчиков. Обучающие материалы и статьи. URL: <https://habr.com> (дата обращения: 06.03.2024).
2. *Поченский О.* Предиктивная аналитика: что это такое, методы и инструменты прогностического анализа. URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-cto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (дата обращения: 16.03.2024).

УДК 004.8

Д. М. Крылов, В. В. Назаренко, А. В. Степанов

студенты кафедры электромеханики и робототехники

Е. С. Квас – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Введение

В эпоху стремительного цифрового и глобального развития, промышленные компании сталкиваются с острой необходимостью модернизации своих операционных процессов, чтобы оставаться на плаву в конкурентной борьбе [1]. Быстрое развитие технологий и усложнение международных рынков требуют от них поиска инновационных решений в управлении, а искусственный интеллект выступает в этом контексте как один из наиболее перспективных инструментов. Внедрение ИИ позволяет автоматизировать повторяющиеся задачи, повысить эффективность использования ресурсов и провести интеллектуальный анализ данных, что в свою очередь ведет к более взвешенным и обоснованным решениям в управлении [2].

Искусственный интеллект, представленный сегодня такими технологиями, как машинное обучение, нейронные сети и алгоритмы для работы с большими данными, не только ускоряет обработку информации, но и оптимизирует рабочие процессы, повышая при этом точность прогнозирования экономических тенденций. Автоматизация процессов освобождает предприятия от рутинных задач, позволяя им направить усилия и ресурсы на продвижение инноваций и долгосрочного планирования, что становится все более актуальным в динамичной конкурентной обстановке [3].

Также исследования в области применения ИИ в управлении промышленными предприятиями демонстрируют, что внедрение таких технологий ведет к существенному повышению эффективности производственных процессов, улучшению качества выпускаемой продукции и снижению ошибок, связанных с человеческим фактором.

Но вместе с этим такая интеграция требует изменения организационной культуры и адаптации управленческих процессов. Компании вынуждены пересматривать подходы к обучению персонала и внедрению новых технологий, что требует формирования гибких и адаптивных структур управления.

Основы операционного управления

Операционное управление – это важная часть менеджмента, которая фокусируется на планировании, организации, контроле и улучшении процессов производства товаров и услуг [4]. Главная цель этой области заключается в максимально эффективном использовании различных ресурсов, таких как материальные, трудовые, финансовые и информационные, для достижения стратегических целей компании.

Основные задачи операционного управления включают в себя:

1. Оптимизация производственных процессов: улучшение производительности, сокращение времени выполнения задач, уменьшение потерь и бракованных изделий.
2. Управление цепочками поставок: обеспечение своевременной и экономически выгодной доставки как сырья, так и готовой продукции.
3. Улучшение качества: повышение уровня соответствия товаров и услуг ожиданиям клиентов.
4. Снижение затрат: уменьшение расходов на всех этапах операционной деятельности.
5. Повышение гибкости и адаптивности: способность быстро реагировать на изменения в рыночной ситуации и предпочтениях потребителей.

В условиях цифровизации и глобализации, когда традиционные методы управления сталкиваются с новыми вызовами, предприятия вынуждены искать инновационные подходы для решения этих задач. Именно поэтому интеграция таких технологий, как искусственный интеллект, становится приоритетным направлением модернизации бизнеса [1].

Технологии ИИ в операционном управлении

Искусственный интеллект представляет собой совокупность алгоритмов, которые моделируют интеллектуальные процессы, позволяя решать задачи без непосредственного участия людей. Эти алгоритмы организуют процессы, схожие с теми, что присущи умственным структурам, и выполняют производство и воспроизведение рациональных действий, включая кодирование и принятие решений, которые не требуют человеческого вмешательства [5]. В сфере операционного управления различные технологии ИИ применяются для решения множества задач [6]:

1. Машинное обучение: алгоритмы машинного обучения дают возможность компьютерным системам анализировать информацию и улучшать эффективность своих операций без необходимости вмешательства человека [7]. В области операционного управления машинное обучение используется для прогнозирования спроса, оптимизации запасов на складах, создания индивидуальных рекомендаций и работы с интеллектуальными чат-ассистентами [8]. Также статистическое машинное обучение активно применяется для глубокого анализа больших объемов маркетинговых данных [9].

2. Нейронные сети (НС) служат для моделирования работы нашего мозга и находят применение в выявлении сложных закономерностей в данных. Глубокое обучение, которое можно представить, как многослойные нейронные сети, находит широкое применение в различных сферах. Например, это касается распознавания голоса и изображений, анализа текста, автоматизированного контроля качества продукции, диагностики заболеваний, а также обеспечения безопасности через технологии распознавания лиц [8].

3. Роботизированная автоматизация процессов (RPA) включает в себя применение систем, которые способны выполнять повторы задач, связанных с обработкой данных и документооборотом. Это существенно увеличивает эффективность офисных операций, ускоряет процесс обработки документов и уменьшает потребность в ручном труде.

4. Технологии, связанные с обработкой естественного языка (NLP), позволяют «понимать» и анализировать человеческую речь и текст. В сфере операционного управления NLP используется для разработки чат-ботов, обеспечения клиентской поддержки, распознавания речи для голосовых команд и анализа текстовой информации. Это способствует улучшению коммуникации и ускорению поиска нужной информации [10].

5. Экспертные системы: представляют собой набор логических правил, созданных специалистами, и предназначены для автоматизации процессов принятия решений. Они находят применение, например, в таких областях, как кредитование и страхование.

6. Компьютерное зрение: эта технология обеспечивает анализ визуальной информации, включая изображения и видео. В операционном управлении компьютерное зрение применяется для автоматического контроля качества, выявления дефектов и распознавания объектов. Например, оно может использоваться для обнаружения микроскопических частиц на изображениях нефтяной эмульсии.

7. Физические роботы: роботы, обладающие элементами искусственного интеллекта, способны автоматизировать разнообразные задачи, связанные с физическим трудом. Это может включать в себя такие сферы, как логистика на складах, автоматизация процессов на производственных линиях, а также выполнение операций в сельском хозяйстве.

Практические примеры

Внедрение технологий искусственного интеллекта показывает впечатляющие результаты в различных сферах операционного управления:

1. Производственный сектор: ИИ-системы автоматического контроля позволяют быстро анализировать изделия на соответствие заданным техническим характеристикам. Это, в свою очередь, помогает значительно уменьшить уровень брака на всех этапах производственного процесса. К примеру, компания Siemens применяет технологии компьютерного зрения для контроля качества на своих заводах. Это дает возможность выявлять дефекты в режиме реального времени, что приводит к экономии миллионов евро благодаря снижению объема бракованной продукции [11]. Такие решения способствуют улучшению качества выпускаемой продукции и снижению расходов, связанных с повторной обработкой дефектов.

2. Логистика и цепочки поставок: использование искусственного интеллекта для лучшего распределения ресурсов сокращает время исполнения заказов и уменьшает топливные расходы, особенно в условиях неблагоприятных погодных или дорожных условий [12]. Применение алгоритмов машинного обучения для прогнозирования спроса и оптимизации управления складскими запасами позволяет более точно планировать транспортные маршруты и оперативно реагировать на изменения рыночной конъюнктуры [4]. Например, компания DHL внедряет искусственный интеллект для оптимизации маршрутов доставки, сокращая время выполнения заказов на 15% и топливные расходы на 10% благодаря точным прогнозам спроса, а компания Amazon использует алгоритмы искусственного интеллекта для оптимизации маршрутов доставки, сокращая тем самым время выполнения заказов на 30% и уменьшая углеродный след транспорта [1].

3. Маркетинг и продажи: технологии искусственного интеллекта способствуют совершенствованию процессов сбыта и улучшению клиентского опыта. Анализ пользовательских предпочтений помогает формировать индивидуальные предложения, что повышает эффективность продаж. Amazon применяет машинное обучение для персонализированных рекомендаций, что увеличило выручку на 29% в 2023 году [1, 5].

4. Финансовый менеджмент: применение интеллектуальных систем для управления активами позволяет существенно сократить временные затраты на рутинные операции и оптимизировать финансовые потоки. Современные системы контроля финансовых процессов помогают минимизировать потери и снизить риски, в том числе за счет использования нейронных сетей для выявления мошеннических операций [2]. Компания JPMorgan Chase автоматизировала анализ документов с помощью ИИ, сократив время обработки на 90% и снизив риски мошенничества. Также показательным примером является компания Сбербанк, которая внедрила систему на основе NLP для обработки кредитных заявок. Это сократило время рассмотрения с 3 дней до 15 минут, снизив ошибки на 40% [9].

5. Обслуживание клиентов: интеллектуальные чат-ассистенты, работающие на основе машинного обучения, могут обеспечить персонализированное взаимодействие с клиентами, что повысит качество обслуживания и уровень лояльности. Примером является компания Sephora, которая использует чат-ботов на базе ИИ, что улучшило качество поддержки и сократило время ответа на запросы на 50% [6].

Вызовы и ограничения

Внедрение ИИ в операционное управление сталкивается с рядом сложностей. В первую очередь, значительные инвестиции в инфраструктуру и обучение персонала часто становятся барьером для малого и среднего бизнеса. Например, компании, внедряющие системы предиктивной аналитики, тратят до 30% бюджета только на адаптацию данных [13]. Вовторых, этические риски, такие как алгоритмическая предвзятость, могут привести к некорректным решениям.

Также не стоит забывать о технических сложностях, которые включают в себя интеграцию искусственного интеллекта с устаревшими вычислительными системами. Так, 40% проектов в промышленности терпят неудачу из-за несовместимости данных [13]. Дополнительная проблема – сопротивление сотрудников: опрос PwC 2023 г. выявил, что 55% работников опасаются автоматизации своих функций, что замедляет трансформацию [6].

Перспективы развития и рекомендации

Перспективы развития ИИ в операционном управлении выглядят многообещающе:

1. Развитие самообучающихся алгоритмов: ожидается дальнейшее развитие алгоритмов искусственного интеллекта, способных к самостоятельному обучению и адаптации к меняющимся условиям.

2. Совершенствование этических и правовых рамок: для обеспечения надлежащего использования ИИ необходимо развитие этических норм и правовых регуляторов.

3. Акцент на сотрудничестве человека и искусственным интеллектом: будущее операционного управления видится в симбиозе между человеком и искусственным интеллектом, где искусственный интеллект берет на себя рутинные задачи, а человек сосредоточивается на принятии стратегических решений и творческой деятельности.

4. Рост инвестиций в ИИ: ожидается дальнейший рост инвестиций в разработку и внедрение ИИ-технологий в различных отраслях экономики.

Для успешной интеграции ИИ в операционное управление организациям рекомендуется:

1. Разработать четкую стратегию внедрения ИИ, определив цели и ожидаемые результаты.
2. Инвестировать в развитие компетенций персонала в области ИИ и анализа данных.
3. Обеспечить качество и доступность данных, необходимых для обучения ИИ-моделей.
4. Выбирать ИИ-технологии, соответствующие специфике бизнес-процессов и задачам организации.
5. Тщательно оценивать риски и этические последствия внедрения ИИ.
6. Обеспечить интеграцию ИИ-систем с существующей IT-инфраструктурой.

Заключение

Интеграция искусственного интеллекта в операционное управление промышленных предприятий представляет собой ключевой фактор повышения эффективности бизнес-процессов в условиях цифровой экономики. Технологии ИИ, такие как машинное обучение, нейронные сети и компьютерное зрение, позволяют автоматизировать рутинные задачи, оптимизировать ресурсы, снизить издержки и повысить точность прогнозирования рыночных трендов. Практические примеры, включая внедрение предиктивной аналитики в производстве, оптимизацию логистических цепочек и персонализацию услуг, демонстрируют значительный экономический эффект: снижение брака на 20%, сокращение времени доставки на 30% и повышение производительности труда. Однако внедрение ИИ сопряжено с рядом вызовов, таких как высокие затраты на адаптацию данных, этические риски алгоритмической предвзятости и сопротивление персонала, что требует тщательного планирования и инвестиций в обучение. Перспективы развития включают совершенствование самообучающихся алгоритмов, формирование этических стандартов и рост инвестиций в технологии ИИ. Успешная интеграция ИИ зависит не только от технологических решений, но и от системного подхода, включающего стратегическое планирование, адаптацию корпоративной культуры и минимизацию рисков, что позволит организациям укрепить конкурентоспособность и обеспечить устойчивое развитие в долгосрочной перспективе.

Список источников

1. Глинка А. С. Применение искусственного интеллекта в трансформации бизнес-процессов промышленных предприятий: организационно-экономический подход. М.: Экономика, 2023. 180 с.
2. Дзвенпорт Т. Х., Ронанки Р. Искусственный интеллект для реального мира // Гарвард Бизнес Ревью. 2018. № 1. С. 108–116.
3. Городнова Н. В. Применение искусственного интеллекта в бизнес-сфере: современное состояние и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2021. № 4. С. 1472–1492. DOI: 10.18334/voprosy.11.4.112249.
4. Чанкаева А. М., Сарвалов А. М. Влияние информационных технологий на логистическую отрасль // IV Всероссийская научно-практическая конференция «DIGITAL ERA». 2024. С. 45–47.
5. Резаев А. В., Трегубова Н. Д. Искусственный интеллект, онлайн-культура, искусственная социальность: определение понятий // Мониторинг общественного мнения: Экономические и социальные перемены. 2019. № 6. С. 35–47. URL: <https://doi.org/10.14515/monitoring.2019.6.03> (дата обращения: 10.03.2024).
6. Санарикова А. Оптимизация бизнес-процессов с помощью искусственного интеллекта: перспективы и вызовы // Endless Light in Science. 2025. Б.н. С. 137–122.
7. Митчелл Т. М. Машинное обучение. М.: Макгроу-Хилл, 1997. 320 с.
8. Гудфеллоу Я., Бенджио И., Курвилль А. Глубокое обучение. М.: ДМК Пресс, 2021. 650 с.
9. Толкаченко О. Ю. Возможности применения технологий искусственного интеллекта российскими компаниями с целью повышения экономической эффективности их деятельности // Инновации и технологии. 2023. № 1. С. 75–83. DOI: 10.26456/22191453/2023.1.075–083.
10. Джурэфски Д., Мартин Дж. Х. Обработка речи и языка. 3-е изд. М.: Пирсон, 2020. 800 с.

11. *Фальск Р.* ИИ для предиктивного обслуживания промышленных систем. URL: https://www.researchgate.net/publication/375722960_AI_for_Predictive_Maintenance_in_Industrial_Systems (дата обращения: 06.03.2025).
12. *Сунил Ч., Петер М.* Управление цепочками поставок. М.: Инфра-М, 2016. 300 с.
13. *Ким Й., Парк Дж.* Препятствия и вызовы внедрения искусственного интеллекта в операционном менеджменте: систематический обзор // Журнал бизнеса и технологий. 2019. № 2. С. 34–45.
14. *Романов В., Иванова С., Петров А.* Будущие тенденции и рекомендации по интеграции искусственного интеллекта в промышленные операции // Международный журнал промышленного менеджмента. 2020. Т. 12. № 3. С. 245–261.

УДК 681.5

Д. М. Крылов, В. В. Назаренко, А. В. Степанов

студенты кафедры электромеханики и робототехники

М. В. Сержантова – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГИБКОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Жизненный цикл электрических устройств, систем и электрических машин: от идеи до утилизации

Жизненный цикл (ЖЦ) электрических устройств, систем и электрических машин представляет собой комплексную и взаимосвязанную последовательность этапов и процессов. Этот цикл начинается с момента зарождения идеи создания устройства и охватывает все стадии его существования, включая проектирование, изготовление, ввод в эксплуатацию и эксплуатацию, а также завершается выводом из эксплуатации и утилизацией. По сути, ЖЦ отражает всю «жизнь» изделия, от его концептуального создания до момента, когда оно морально устаревает и перестает выполнять свои функции [1].

Основные этапы жизненного цикла

Жизненный цикл электрических устройств, систем и электрических машин можно условно разделить на четыре основных этапа:

- 1. Проектирование (конструкторская проработка):** этот этап является основополагающим и включает в себя ряд важных подпроцессов:
 - **Формирование требований:** определение функциональных, технических и эксплуатационных характеристик будущего устройства, а также требований к безопасности, надежности и экономичности.
 - **Разработка концепции:** создание общего представления о устройстве, определение его основных принципов работы и структуры.
 - **Детальное проектирование:** разработка конструкторской документации, включающей чертежи, схемы, спецификации и другие необходимые материалы.
 - **Проверка и анализ:** оценка соответствия разработанного проекта требованиям, выявление возможных ошибок и недочетов, а также моделирование и анализ характеристик устройства.
- 2. Изготовление (производство):** на этом этапе происходит материальное воплощение спроектированного устройства:
 - **Закупка материалов и комплектующих:** приобретение необходимых материалов, компонентов и узлов, соответствующих требованиям качества и стандартам.
 - **Производственный процесс:** выполнение технологических операций по сборке, монтажу, наладке и регулировке устройства в соответствии с конструкторской документацией.
 - **Контроль качества:** проведение контроля качества на всех этапах производства, включая входной контроль материалов, операционный контроль и выходной контроль готовой продукции.
 - **Приемочные испытания:** проведение испытаний готового устройства для подтверждения его соответствия требованиям и характеристикам, заявленным в проекте.
- 3. Ввод в эксплуатацию и эксплуатация (настройка и функционирование):** этот этап включает в себя подготовку и использование устройства по назначению:
 - **Монтаж:** установка и подключение устройства на месте эксплуатации в соответствии с проектной документацией и требованиями безопасности.
 - **Пусконаладочные работы:** проверка работоспособности устройства, настройка параметров и режимов работы, а также устранение возможных дефектов и неисправностей.
 - **Обучение персонала:** подготовка персонала, который будет эксплуатировать и обслуживать устройство, обучение правилам безопасной работы и технического обслуживания.

- **Ввод в эксплуатацию:** официальное начало эксплуатации устройства после завершения всех подготовительных работ и проверок.
 - **Режим работы:** эксплуатация устройства в соответствии с установленными режимами и параметрами, обеспечивающими его надежную и эффективную работу.
 - **Техническое обслуживание:** выполнение плановых работ по поддержанию устройства в исправном состоянии, включая смазку, чистку, регулировку и замену изношенных деталей.
 - **Текущий ремонт:** устранение возникающих неисправностей и дефектов, восстановление работоспособности устройства.
 - **Диагностика:** проведение периодических проверок и измерений для оценки технического состояния устройства и выявления возможных проблем.
4. **Вывод из эксплуатации (утилизация):** этот этап завершает жизненный цикл устройства:
- **Демонтаж:** отключение и демонтаж устройства с места эксплуатации.
 - **Утилизация:** переработка и утилизация материалов и компонентов устройства в соответствии с экологическими требованиями и стандартами.
 - **Замена:** замена устаревшего или неисправного устройства новым.

Безопасность взаимодействия человека и робота в технологическом сборочном модуле

Особое внимание следует уделить третьему этапу жизненного цикла – вводу в эксплуатацию и эксплуатации, в частности, взаимодействию человека с электрическими устройствами, системами и электрическими машинами. Рассмотрим технологический сборочный модуль, состоящий из трех роботов-манипуляторов, работающих совместно с человеком-оператором в общей операционной зоне, представленном на рис. 1.

Безопасность человека-оператора является приоритетным аспектом при проектировании и эксплуатации таких систем [2]. Во время автоматизированного производства могут возникать аварийные ситуации, угрожающие жизни людей, выход из строя оборудования, требующего срочного ремонта, необходимость изменения скорости конвейерной линии производства и многое другие ситуации, где время играет важнейшую роль.

Существует четыре основных подхода к обеспечению безопасной совместной работы человека и робота:

1. **Контролируемый останов по безопасности:** робот или его манипулятор не перемещаются в общем рабочем пространстве, когда в нем находится человек. Система безопасности отслеживает присутствие человека и при его обнаружении немедленно останавливает робота.
2. **Ручное управление:** робот перемещается только под непосредственным управлением человека, в отличие от режима обучения, где робот работает без автоматического управления. Оператор контролирует каждое движение робота, что позволяет выполнять сложные и точные операции.
3. **Мониторинг скорости и сближения:** робот и человек-оператор могут свободно перемещаться по траекториям в общем пространстве, но при критическом сближении робот автоматически останавливается или снижает скорость. Система мониторинга постоянно отслеживает взаимное положение и скорость робота и человека, предотвращая столкновения.
4. **Ограничение мощности усилия и крутящего момента:** робот оснащен датчиками, измеряющими силу и крутящий момент, прилагаемые к объектам. При превышении заданных пороговых значений робот автоматически снижает мощность или останавливается, предотвращая травмы при контакте с человеком. Такой подход позволяет обеспечить прямой контакт между человеком и роботом без риска травм или причинения боли.

Предлагаемое решение направлено на повышение технологической гибкости [3, 4] роботизированных сборочных модулей за счет интеграции управляемого участия человека-оператора, в том числе с помощью голосовых команд. Такой подход позволяет оперативно адаптироваться к изменениям производственных задач, что особенно важно в условиях динамично меняющейся номенклатуры продукции. Однако для обеспечения эффективности и безопасности необходимо учиты-

вать фактор работоспособности оператора и минимизировать вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.

В качестве основы для реализации предложенного решения используется круговая технологическая сборочно-комплектующая роботизированная линия (ТСКРЛ) [5-8]. Она включает в себя: три робота-манипулятора, выполняющих операции по сборке деталей за индивидуальными рабочими столами; человек-оператор, выполняющий сборочные операции за индивидуальным рабочим столом, слева у него вспомогательный стол для инструментов и сменной оснастки; ячейки для сбора готовой продукции, куда после завершения сборочных операций ее помещают человек-оператор и робот-манипулятор; сменное задание распределено на вращающейся сборочно-комплектующей линии; и поворотные столы, предназначенные для сборочных операций, временного хранения промежуточно собранных элементов для передачи их для дальнейшей сборки следующему участнику ТСКРЛ., что позволяет сочетать преимущества автоматизации и гибкость ручного управления. Круговая компоновка обеспечивает рост и спад производительности (с учетом периодов «вхождения в режим» и усталости), а также форсирующие свойства (отражающие способность оператора кратковременно повышать производительность в определенных ситуациях).

Управление ТСКРЛ осуществляется в двух режимах: автоматизированном для оптимизации участия человека в производственном процессе. Модель позволяет ограничивать участие человека в те периоды времени, когда его работоспособность снижена, и, наоборот, активно использовать «ручное» управление в периоды максимальной работоспособности. Это позволяет обеспечить баланс между автоматизацией и ручным управлением, снизить вероятность ошибок и повысить общую эффективность производственной системы.

Внедрение голосового помощника в системы совместной работы человека и робота представляет собой перспективное направление для повышения безопасности, гибкости и общей эффективности производственных процессов. Гипотеза о том, что голосовое управление способствует повышению безопасности, обусловлена возможностью оперативного контроля и управления системой непосредственно в рабочей зоне без необходимости отвлекаться на ручные операции или перемещаться к панели управления. Благодаря голосовому помощнику оператор может быстро вносить коррективы в работу оборудования, отслеживать его состояние, изменять скорость и реагировать на чрезвычайные ситуации, такие как ремонтные работы или потенциальные аварии.

Подобная интеграция не только минимизирует риски для человека-оператора, но и способствует увеличению срока службы электрических устройств, систем и электрических машин [8]. Оперативное внесение корректировок и своевременное реагирование на возникающие проблемы позволяют предотвратить серьезные поломки и продлить срок службы оборудования. Упрощенная система с полной автоматизацией и контролируемым участием человека позволяет использовать сильные стороны обоих подходов и в конечном итоге способствует достижению максимальной эффективности производства и повышению безопасности труда.

Список источников

1. *Фомина Ю. Н., Гусельников В. С., Колобов Д. Ю.* Разработка автоматизированной системы технологической подготовки производства на основе PLM-методологии. // Сб. мат. Всероссийского конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники «Информационно-телекоммуникационные системы». 2006. С. 172.
2. *Городничая Е. В.* Развитие промышленной революции: переход от промышленной революции 4.0 к промышленной революции 5.0 // *Universum: экономика и юриспруденция: электрон. научн. журн.* 2024.
3. *Козырев Ю. Г.* Гибкие производственные системы. Справочник. М.: КНОРУС, 2022. 364 с.
4. Обеспечение гибкости роботизированных технологических систем для сборки малогабаритных изделий / В. М. Медунецкий и др. // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики.* 2021. Т. 21, № 1. С. 143–146. doi: 10.17586/2226-1494-2021-21-1-143-146.
5. Моделирование процесса вырождения технической системы управления высокотемпературными процессами с человеком-оператором в своем составе / Н. А. Дударенко и др. // *Nuclear Physics and Engineering.* 2023. № 14, issue 17. С. 566–570. doi:10.56304/s2079562923010232.

6. Рудаков Р. В., Сержантова М. В. Адаптивное управление роботами для работы в условиях действия высоких температур. 2024. doi: 10.31799/1684-8853-2024-4-12-2.

7. Сержантова М. В., Медунецкий В. М., Дьяченко С. М. Роботизированный технологический сборочно-комплектующий модуль с возможностью введения команд от человека-оператора // Сб. мат. 13-й Международной научной конференции «Современное машиностроение: наука и образование 2024» (СПб., 2024).

8. Тяня М. Анандан. Роботы и люди: безопасное сотрудничество // Control Engineering, Россия. Декабрь 2017. URL: <https://controlengrussia.com/innovatsii/robototehnika/lyudi-i-koboty/?ysclid=m8uu8pk1of961866051> (дата обращения: 12.02.2025).

УДК 658.511.3

Д. М. Крылов, В. В. Назаренко, А. В. Степанов

студенты кафедры электромеханики и робототехники

Е. С. Квас – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В РОССИЙСКИЕ КОМПАНИИ

В условиях глобальной цифровизации и стремления к технологической независимости, стратегические цели Российской Федерации включают в себя активное развитие и внедрение отечественных технологических решений [1]. Одним из ключевых направлений является создание и внедрение инновационных систем, способных повысить эффективность управления сложными инженерными и производственными процессами. В этом контексте особого внимания заслуживает Интегрированная Автоматизированная Система (ИАС) «Умногор», разработанная компанией «Стройплатформа». Данная система представляет собой передовое решение для управления, мониторинга и оптимизации работы объектов инженерной инфраструктуры.

Актуальность внедрения ИАС «Умногор» в современных инженерных компаниях

Современные промышленные предприятия и объекты инфраструктуры характеризуются высокой сложностью и взаимосвязанностью технологических процессов. На таких объектах используется множество оборудования, которое требует постоянного контроля и управления. В случае возникновения нештатных ситуаций последствия могут быть крайне серьезными, включая остановку производства, аварии и экологические катастрофы. В таких условиях возникает острая необходимость в эффективных инструментах для мониторинга и управления оборудованием.

ИАС «Умногор» предлагает комплексное решение для этих задач. Система обеспечивает не только сбор и обработку данных с оборудования, но и предоставляет интуитивно понятный интерфейс для оперативного управления и анализа. Это позволяет значительно снизить риски, связанные с человеческим фактором, и повысить общую надежность работы предприятия.

Функциональные возможности ИАС «Умногор»

Основное назначение системы «Умногор» заключается в диспетчеризации объектов инженерной инфраструктуры. Система способна обрабатывать данные, поступающие с различных датчиков, и визуализировать их в реальном времени. Благодаря удобному интерфейсу и возможности интеграции с датчиками, ИАС «Умногор» позволяет вести оперативный журнал технологических параметров оборудования, формировать архив значений этих параметров, а также оперативно уведомлять о возникновении нештатных ситуаций. Это обеспечивает непрерывный контроль за состоянием оборудования и своевременное реагирование на потенциальные угрозы.

Ключевые функции системы включают:

- мониторинг оборудования: сбор данных с датчиков, визуализация текущего состояния оборудования;
- управление процессами: возможность удаленного управления оборудованием через интерфейс системы;
- анализ данных: формирование отчетов, анализ тенденций и прогнозирование возможных сбоев;
- уведомления о нештатных ситуациях: оперативное оповещение о возникновении аварийных ситуаций.

Оптимизация работы предприятий с использованием ИАС «Умногор»

Использование ИАС «Умногор» позволяет значительно оптимизировать работу предприятий, таких как очистные сооружения, перерабатывающие заводы, энергетические объекты и другие сложные инженерные системы. ИАС упрощает обслуживание предприятий, обеспечивая оперативный контроль

за чрезвычайными ситуациями и позволяя эффективно решать возникающие проблемы. Это не только экономит время и ресурсы, но и повышает общую надежность и безопасность работы предприятия.

Структура ИАС «Умногор» [2]

ИАС «Умногор» состоит из трех взаимосвязанных модулей: Умногор.SCADA, Умногор.PCO и Умногор.ТИМ. Каждый из этих модулей выполняет определенные функции, обеспечивая комплексное решение для управления инженерной инфраструктурой [1].

1. Умногор.PCO – веб-интерфейс, который предоставляет инструменты для диспетчеризации объектов. Этот модуль позволяет операторам управлять оборудованием, отслеживать его состояние и получать уведомления о нештатных ситуациях.

2. Умногор.SCADA – модуль, отвечающий за сбор и передачу данных, управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР), а также ведение архива оперативных параметров. SCADA-система позволяет визуализировать данные в виде мнемосхем, что упрощает процесс управления.

3. Умногор.ТИМ – программное обеспечение для создания цифрового двойника объекта, включая 3D-модели с высокой детализацией, поддержку VR-режима и моделирование процесса строительства. Этот модуль позволяет визуализировать технологические процессы и управлять оборудованием через информационные окна.

Функциональные возможности Умногор.ТИМ

Умногор.ТИМ представляет собой один из наиболее инновационных модулей системы. Он позволяет создавать цифровые двойники объектов, синхронизировать 3D-модели с проектами из Revit, автоматически собирать и обрабатывать данные с оборудования, визуализировать процесс строительства и отображать значения технологических параметров. Это позволяет проводить детальный анализ состояния оборудования и процессов без необходимости физического присутствия на объекте.

Ключевые функции Умногор.ТИМ включают:

- создание цифрового двойника: возможность создания 3D-модели объекта на основе данных из Revit;
- синхронизация данных: автоматическое обновление модели в реальном времени;
- визуализация процессов: отображение технологических параметров и состояния оборудования;
- уведомления о нештатных ситуациях: оперативное оповещение о возникновении аварийных ситуаций.

Архитектура ИАС «Умногор»

ИАС «Умногор» построена на основе микросервисной архитектуры, что позволяет снизить требования к вычислительным ресурсам и, как следствие, сократить затраты. Основные сервисы системы включают:

- сервис авторизации и аутентификации – обеспечивает безопасный доступ к системе и контроль за действиями пользователей. Этот сервис позволяет разграничивать права доступа и вести журнал действий пользователей;

- сервисы верхнего уровня – отвечают за функциональность системы, включая расчет технологических параметров и кэширование уведомлений. Например, сервис расчета специальных технологических параметров позволяет обрабатывать большие объемы данных и предоставлять точные значения для анализа;

- сервисы транспортного уровня – обеспечивают обмен данными между контроллерами и сервисами верхнего уровня, используя протоколы Modbus TCP и Siemens (PUT/GET). Эти сервисы поддерживают работу с аналоговыми и дискретными значениями, что позволяет эффективно управлять оборудованием;

- сервисы обработки сообщений на основе Apache Kafka – обеспечивают асинхронную обработку данных в реальном времени. Apache Kafka используется для передачи и обработки больших объемов данных, что делает систему масштабируемой и отказоустойчивой;

- сервис управления оборудованием – позволяет управлять оборудованием через интерфейс SCADA. Этот сервис проверяет команды управления и передает их на оборудование через Apache Kafka.

Системные требования для ИАС «Умногор» [2]

Для запуска ИАС «Умногор» необходимы следующие минимальные системные требования [2]:

- процессор: Intel Core i5 или Ryzen 5;
- видеокарта: NVIDIA GTX 1080;
- оперативная память: 32 ГБ;
- монитор: разрешение не менее 1920x1080;
- интернет: скорость не менее 40 Мбит/с.

Для комфортной работы рекомендуется:

- процессор: Intel Core i5 или Ryzen 5;
- видеокарта: NVIDIA RTX 3060;
- оперативная память: 32 ГБ;
- монитор: разрешение не менее 1920x1080;
- интернет: скорость не менее 80 Мбит/с.

Высокие системные требования обусловлены необходимостью обработки больших объемов данных и обеспечения высокой производительности системы.

Перспективы развития ИАС «Умногор»

Одной из новейших разработок, внедряемых в ИАС «Умногор», является возможность VR-прогулок по цифровому двойнику объекта. Это не только демонстрирует перспективы развития проекта, но и подчеркивает стремление компании «Стройплатформа» занять лидирующие позиции на мировом рынке инновационных решений для управления инженерной инфраструктурой. VR-технологии позволяют не только визуализировать объект, но и проводить обучение персонала в виртуальной среде, что значительно повышает эффективность подготовки специалистов.

Заключение

ИАС «Умногор» представляет собой уникальное решение для управления и мониторинга инженерной инфраструктуры, сочетающее в себе передовые технологии и интуитивно понятный интерфейс. Система не только оптимизирует работу предприятий, но и открывает новые возможности для анализа и управления сложными инженерными процессами. Внедрение таких технологий является важным шагом на пути к цифровизации и повышению эффективности отечественных предприятий. Благодаря своим функциональным возможностям и перспективам развития, ИАС «Умногор» имеет все шансы стать одним из ключевых инструментов для управления инженерной инфраструктурой как в России, так и за ее пределами.

Список источников

1. Указ президента № 309 П7 – национальная цель «Технологическое лидерство». URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/408892634/> (дата обращения 28.11.2024).
2. Интернет-ресурс – Функциональные характеристики ИАС «Умногор». URL: <https://stroyplatforma.ru> (дата обращения 04.12.2024).

УДК 62-503.56

В. Р. Лебедев

студент кафедры мехатроники и робототехники

С. А. Сериков – профессор, доктор технических наук – научный руководитель

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В НАСТРОЙКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Точная настройка коэффициентов ПИД-регулятора является важной задачей для обеспечения необходимых критериев качества системы. Часто на предприятиях при использовании мехатронных систем необходимо обеспечивать точность позиционирования исполнительного органа. Для этого целесообразно исследование генетического алгоритма в настройке коэффициентов ПИД-регулятора. В ходе этого исследования было выяснено, что увеличение количества особей в популяции приводит к уменьшению ошибки позиционирования исполнительного органа. Данная настройка коэффициентов ПИД-регулятора можно использовать в системах где необходимо точное позиционирование исполнительного органа.

Генетический алгоритм – это метод решения как ограниченных, так и неограниченных задач оптимизации, основанный на естественном отборе – процессе, который управляет биологической эволюцией. Генетический алгоритм многократно изменяет популяцию индивидуальных решений. На каждом этапе генетический алгоритм выбирает особей из текущей популяции в качестве родителей и использует их для создания детей в следующем поколении. В течение нескольких поколений популяция «эволюционирует» в направлении оптимального решения [1].

Генетический алгоритм решает задачи гладкой и негладкой оптимизации с любыми типами ограничений, включая целочисленные ограничения. Это стохастический алгоритм, основанный на популяции, который выполняет случайный поиск с помощью мутации и скрещивания между членами популяции [2].

Генетический алгоритм использует три основных типа правил на каждом этапе для создания следующего поколения на основе текущей популяции:

- правила отбора определяют особей, называемых родителями, которые вносят вклад в популяцию в следующем поколении. Отбор, как правило, является случайным и может зависеть от показателей особей;
- правила скрещивания объединяют двух родителей для получения детей следующего поколения;
- правила мутации применяют случайные изменения к отдельным родителям для формирования потомков [1].

Отличия генетического алгоритма от классического представлены в табл. 1.

Таблица 1

Отличие генетического алгоритма от классического

Классический алгоритм	Генетический алгоритм
На каждой итерации генерируется только одна точка, которая последовательно приближается к решению	На каждой итерации генерируется популяция точек, лучшая из которых приближается к решению
Выбирает следующую точку в последовательности с помощью детерминированного вычисления	Выбирает следующую популяцию с помощью генератора случайных чисел
Быстро сходится к локальному решению	Для достижения результата требуется больше времени, при этом сходимость может быть достигнута, а может и не быть достигнута

Принцип работы генетического алгоритма начинается с создания случайной начальной популяции, как показано на рис. 1.

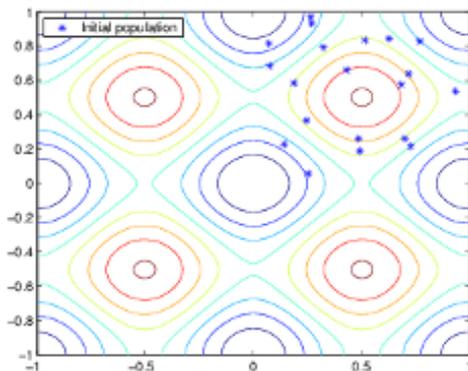


Рис. 1. Пример генерации начальной популяции

На рис. 1 начальная популяция содержит 20 особей, которые расположены в интервале $[0, 1]$.

Далее происходит создание следующего поколения особей. На каждом шаге генетический алгоритм использует текущую популяцию для создания детей, которые составляют следующее поколение. При этом создается три типа потомков для следующего поколения:

- дети-элита – особи с лучшими показателями жизнеспособности, которые автоматически выживают в следующем поколении;
- потомство при скрещивании, которое создается путем объединения векторов пары родителей;
- дети-мутации, которые создаются путем внесения случайных изменений или мутаций одного из родителей [2].

Пример формирования следующего поколения представлен на рис. 2.

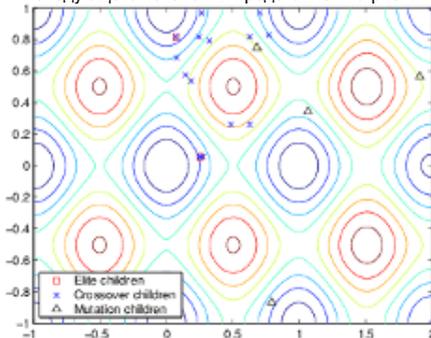


Рис. 2. Пример создания следующего поколения:

□ – дети-элита; x – потомство при скрещивании; ▲ – дети-мутации

Далее алгоритм продолжает поиск оптимального решения, как показано на рис. 3.

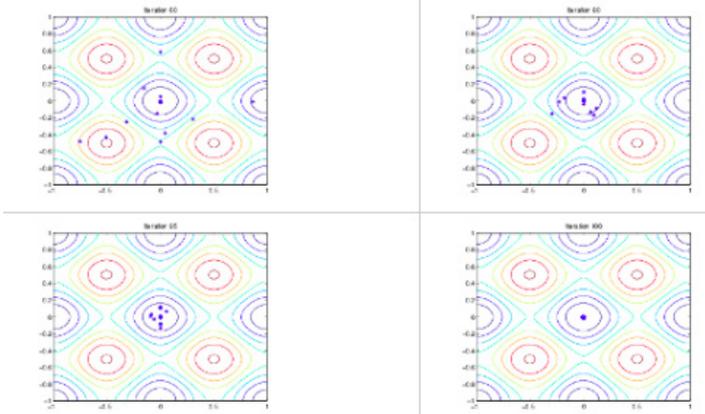


Рис. 3. Процесс поиска оптимального решения

По мере увеличения количества поколений особи в популяции сближаются и приближаются к минимальной точке $[0, 0]$. В конечном итоге алгоритм останавливается при выполнении одного из критериев остановки, таких как: максимальное количество поколений (MaxGeneration), достигнуто максимальное время работы (MaxTime), в течении интервала времени целевая функция не улучшается (MaxStallTime), изменение целевой функции меньше заданного значения (FunctionTolerance) и др.

В качестве примера настройки коэффициентов ПИД-регулятора будет взят следящий электропривод, структурная схема которого представлена на рис. 4.

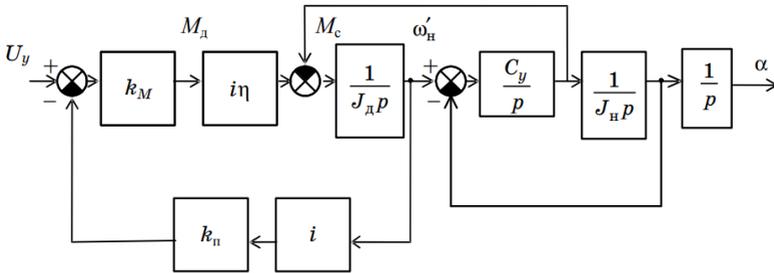


Рис. 4. Структурная схема исполнительного механизма с учетом редуктора

Параметры для данной схемы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры исполнительного механизма

k_M	i	η	$J_d, \text{Нмс}^2$	k_n	C_y	$J_H, \text{Нмс}^2$
0,067	150	0,9	$2 \cdot 10^{-7}$	0,09	1000	5

Передаточная функция исполнительного механизма после произведенных расчетов имеет следующий вид:

$$W = \frac{9045}{10^{-6}s^4 + 610,5375s^3 + 5000,0002s^2 + 122107,5s}$$

Передаточная функция регулятора имеет следующий вид:

$$W_{рег} = \frac{kd \times s^2 + kp \times s + ki}{s}$$

где kd – коэффициент дифференциальной составляющей; kp – коэффициент пропорциональной составляющей; ki – коэффициент интегральной составляющей.

Расчет коэффициентов ПИД-регулятора при помощи генетического алгоритма будет производиться в Matlab. Проведем исследование того, как количество особей в популяции влияет на значение установившейся ошибки.

Произведем настройки генетического алгоритма следующим образом:

- установим значение Elite count равным 5;
- значение crossover fraction равным 0,8;
- мутации будут происходить по закону распределения Гаусса;
- критерием остановки будет достижение 100 поколений.

Данные о проведенном эксперименте представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты эксперимента

Размер популяции	10 особей	30 особей	60 особей	80 особей	100 особей
Установившаяся ошибка	0,0396	0,0392	0,0392	0,0382	0,0364
Кэфф. Кр	123,561	67,564	66,213	66,827	39,11
Кэфф. Ки	114,226	48,69	47,33	44,603	198,06
Кэфф. Кд	197,772	16,738	16,322	16,076	62,698
Количество итераций	100	65	65	68	98

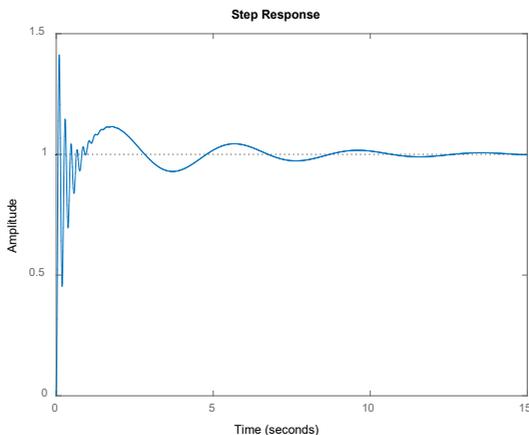


Рис. 5. График переходного процесса по углу при 100 особях в популяции

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Как видно из табл. 3, увеличение количества особей в популяции приводит к уменьшению значения установившейся ошибки, при этом также стоит отметить, что увеличение числа особей в популяции замедляет процесс расчета оптимального решения. График переходного процесса в относительных единицах по углу при 100 особях в популяции представлен на рис. 5.

Также ниже представлены графики поиска оптимального значения ошибки, коэффициентов ПИД-регулятора и график генеалогии отдельных особей в лучшем поколении при 100 особях в популяции, представленные на рис. 6.

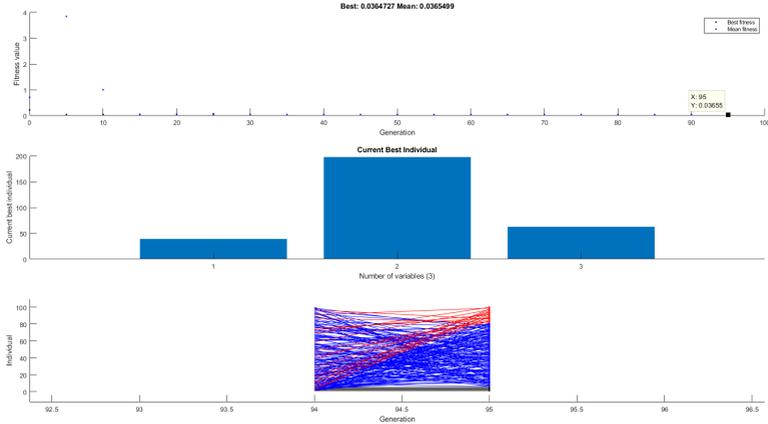


Рис. 6. Графики лучшей особи, значения коэффициентов и генеалогии

На рис. 6 на графике генеалогии красные линии обозначают потомков-мутантов, синие линии обозначают потомков кроссингверов, черные линии обозначают элитных особей.

В итоге можно отметить, что генетический алгоритм в отличие от обычных алгоритмов поиска минимума лучше справляется с задачей поиска глобального минимума функции. По результатам исследования можно сказать, что способ настройки коэффициентов ПИД-регулятора при помощи генетического алгоритма стоит использовать в системах где необходима высокая точность и не высокая скорость переходного процесса и расчетов.

Список источников

1. Что такое генетический алгоритм? URL: <https://ch.mathworks.com/help/gads/what-is-the-genetic-algorithm.html> (дата обращения: 01.12.2024).
2. Генетический алгоритм. URL: https://ch.mathworks.com/help/gads/genetic-algorithm.html?s_tid=CRUX_lftnav (дата обращения: 01.12.2024).
3. Искусственный интеллект. Генетический алгоритм и его применение. URL: <https://3dnews.ru/1050009/iskusstvennyy-intellekt-geneticheskiy-algoritm-i-ego-primeneniya> (дата обращения: 01.12.2024).
4. Системы управления приводами: учеб.-метод. пособие / В. Ф. Шишляков и др. СПб.: ГУАП, 2022. 224 с.

УДК 004.42

В. Р. Лебедев

студент кафедры мехатроники и робототехники

С. А. Сериков – профессор, доктор технических наук – научный руководитель

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЛАТЫ STM32F411CEU ПРИ ПОМОЩИ БИБЛИОТЕКИ WAIJUNG В MATLAB SIMULINK

В современном мире все больше и больше систем и процессов связаны с цифровыми технологиями, где главную роль играют микроконтроллеры. Однако, довольно часто при разработке системы управления возникает такая проблема, что инженер не умеет программировать, а программист не разбирается в электрических схемах. Поэтому в данной статье рассмотрен способ программирования платы STM32F411CEU при помощи библиотеки waijung в Matlab Simulink для разработки системы управления синхронными электродвигателем. В ходе исследования была запрограммирована плата для управления электродвигателем, а сама программа является визуально понятой и не сложной. Результаты исследования показывают новую возможность в программировании микроконтроллера.

Довольно часто между инженером и программистом возникает недопонимание, когда для какой-нибудь системы необходимо запрограммировать плату. Происходит это из-за того, что программист, работая с кодом, не совсем понимает физику процессов, происходящих в системе, как, например, это делает инженер и наоборот инженер не совсем понимает, как работать с кодом, поэтому отличным решением для инженера может стать программирование платы при помощи библиотеки waijung в Matlab Simulink.

Немного слов о библиотеке waijung. Разработчиком данной библиотеки является тайская компания Aimagin. Waijung – это платформа для разработки встраиваемых систем на основе моделирования нового поколения, которая автоматически генерирует код на C из файлов моделей Simulink, компилирует и загружает исполняемый код в микроконтроллер. Waijung позволяет очень быстро разрабатывать сложные автономные устройства и устройства Интернета вещей без необходимости писать код на C или HTML [1].

Данная библиотека используется в Matlab Simulink. Simulink® – это среда для создания блок-схем для многодоменного моделирования и проектирования на основе моделей. Она поддерживает проектирование на системном уровне, моделирование, автоматическую генерацию кода, а также непрерывное тестирование и верификацию встроенных систем. Simulink предоставляет графический редактор, настраиваемые библиотеки блоков и решатели для моделирования и имитации динамических систем. Он интегрирован с MATLAB®, что позволяет включать алгоритмы MATLAB в модели и экспортировать результаты моделирования в MATLAB для дальнейшего анализа [2].

Библиотека waijung обладает следующим функционалом:

- 1) позволяет управлять электродвигателями при помощи ШИМ;
- 2) позволяет синхронизировать микроконтроллер с ядром реального времени в ПК;
- 3) позволяет работать с датчиками (например, датчики Холла) и управлять светодиодами;
- 4) позволяет фиксировать и передавать значения напряжений и тока;

К преимуществам работы с данной библиотекой можно отнести:

- 1) программирование данным способ не требует знаний языка программирования C;
- 2) программирование данным способ является наглядным, т.е. можно видеть блок-схему целиком, а не один участок большого кода;
- 3) знание даташитов микроконтроллера становится не обязательным.

Однако, как и в любой системе данный метод также обладает недостатками, такими как:

- 1) отсутствие доступа к внутренней конфигурации блоков библиотеки, т.е. не всегда понятно, как работает тот или иной блок;
- 2) не синхронное выполнение задач, сгенерированных из нескольких блок-схем, особенно при разных шагах квантования.

Задачи теории автоматического управления могут быть разнообразными, поэтому данные проблемы возникают для задач, требующих особенного подхода, с которыми не могут справиться стан-

где X_A , X_B , X_C – фазы напряжений, Ω – электрическая угловая частота, T – период квантования времени.

Исходя из схемы генератора ШИМ, получаются графики, представленные на рис. 3.

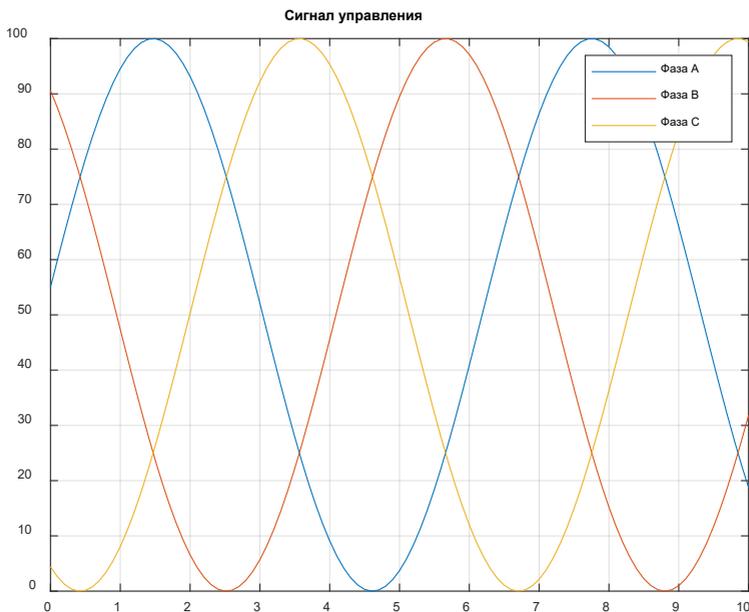


Рис. 3. Графики сигнала управления

На рис. 4 представлена блок-схема управления микроконтроллера из схемы на рис. 1.

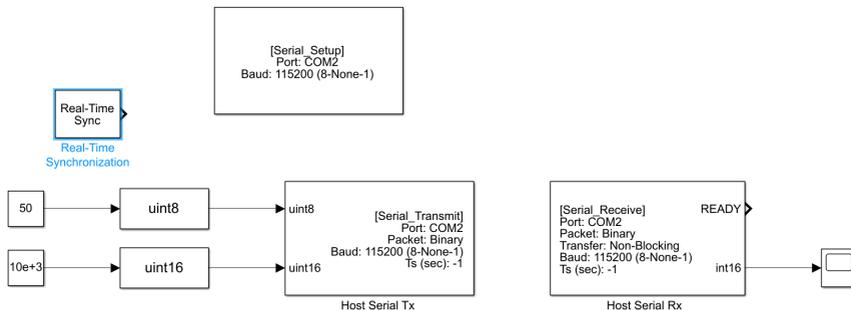


Рис. 4. Блок-схема управления частотой вращения

На этом рисунке блоки Port COM2, Real-Time Sync устанавливают возможность взаимодействия ядра микроконтроллера с ядром реального времени в компьютере через COM порт. Также на рис. 4 блоки Host Serial Tx и Host Serial Rx позволяют управлять элементами из блок-схемы на рис. 1.

Принцип работы, отображенный на рис. 1 и 4, таков: через константы в схеме управления задается частота работы ШИМ и амплитуда ШИМ в процентах, далее эти значения приходят непосредственно на сам блок ШИМ, который уже дальше приходит на порты выхода микроконтроллера и приходят на драйвер двигателя, также на блоки Port A и Port B приходит единица, которая является разрешающим сигналом для работы драйвера.

Программирование с помощью библиотеки waijung может стать решением для инженера, который не разбирается в программировании, так как в ней все предельно просто и понятно, но любом случае, это лишь инструмент для достижения цели и является новой возможностью в программировании микроконтроллеров.

Список источников

1. Наши продукты и услуги. URL: <https://www.aimagin.com/> (дата обращения: 08.12.2024).
2. Simulink. URL: <https://ch.mathworks.com/help/simulink/> (дата обращения: 08.12.2024).
3. Waijung Blockset. URL: <https://waijung1.aimagin.com/> (дата обращения: 08.12.2024).
4. Опыт использования средств модельно-ориентированного программирования и автоматического генерирования кода в Matlab при разработке электроприводов. URL: <https://hub.exponenta.ru/post/opyt-ispolzovaniya-sredstv-modelno-orientirovannogo-programmirovaniya-i-avtomaticheskogo-generirovaniya-koda-v-matlab-pri-razrabotke-elektroprivodov356> (дата обращения: 08.12.2024).

УДК 338.2

В. Н. Лизько

студент кафедры электромеханики и робототехники

Н. В. Савельев – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель**АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ**

На любом производстве, авиационном, судостроительном, машиностроительном, автомобильном, металлургическом или любом другом, выполняется технологический процесс по выпуску той или иной продукции. При этом технологический процесс может состоять из нескольких технологических подпроцессов, а те в свою очередь состоят из операций. При этом эти операции могут быть основными – это изготовление, сборка и т. п. так и вспомогательными – перемещение, удержание и т. п. Для обеспечения всех этих операций используется оборудование, которое так же подразделяется на основное, для обеспечения выполнения основных технологических операций, и вспомогательное – обеспечение вспомогательных операций.

Основное и вспомогательное оборудование обеспечивают технологический процесс для выпуска продукции. Примером основного оборудования может служить прокатный стан, промышленный робот, станок ЧПУ, а вспомогательным магазин выдачи или накопления заготовок, конвейер. При этом, например, и в основном и в вспомогательном оборудовании могут применяться мехатронные модули линейного перемещения. Так, для перемещения промышленного робота, выполняющего основную технологическую операцию по сварке или покраске, вдоль свариваемых конструкций или изделия для покраски применяются мехатронные модули линейного перемещения, на которых и установлен промышленный робот, рис. 1. В промышленных роботах портального типа для перемещения моста или тележки по мосту так же применяются мехатронные модули линейного перемещения, рис. 2. В вспомогательном технологическом оборудовании модули линейного перемещения могут использоваться в качестве узлов или самостоятельных механизмов, так, например, для перемещения заготовок от одного станка к другому.

Соответственно, мехатронные модули линейного перемещения широко используются и как узлы в технологическом оборудовании, так и в качестве самостоятельного оборудования. Поэтому проектирование новых и модернизация существующих мехатронных модулей линейного перемещения является актуальной задачей.



Рис. 1. Пример перемещения промышленного робота с применением мехатронного модуля линейного перемещения



Рис. 2. Пример перемещения моста и тележки портального промышленного робота по мехатронным модулям линейного перемещения

Целью данной работы является рассмотрение и анализ существующих мехатронных модулей линейного перемещения.

Объект исследования – мехатронные модули линейного перемещения. Это системы, которые объединяют механические, электронные и программные компоненты для выполнения поступательного движения по прямой траектории. Они используются для точного перемещения объектов в различных плоскостях. Основными элементами являются двигатели, направляющие, контроллеры и датчики.

Модуль линейного перемещения состоит из исполнительного устройства [1], системы управления, и направляющих, вдоль которого и совершается перемещение, пример такого устройства изображен на рис. 3, структурная схема представлена на рис. 4.



Рис. 3. Модуль линейного перемещения

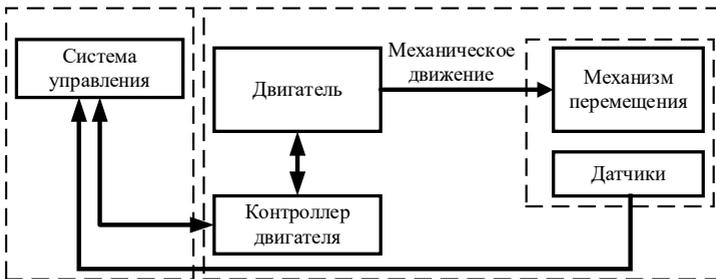


Рис. 4. Структурная схема мехатронного модуля линейного перемещения

Структурная схема работает следующим образом: двигатель обеспечивает движение, редуктор изменяет крутящий момент и скорость. Передачи движения может быть ременная, червячная, реечная, зубчатая и др. Механизм перемещения – слайдер или каретка – элемент, который перемещается по направляющим. Система управления представляет из себя контроллер, который управляет работой привода и отвечает за обработку сигналов обратной связи от датчиков положения.

Мехатронные устройства линейного перемещения роботов могут быть классифицированы по различным критериям, включая конструкцию, тип привода и применение.

Рассмотрим мехатронные устройства линейного перемещения по типу привода.

– электрические приводы: используются шаговые двигатели, сервоприводы или асинхронные машины;

– пневматические модули: работают на основе сжатого воздуха;

– гидравлические модули: используют под давлением рабочей жидкости.

Электрические приводы являются самыми распространенными. Из плюсов можно отметить то, что они обеспечивают высокое быстродействие и точность позиционирования, возможность регулировки скорости, что особенно важно в автоматизированных системах, энергоэффективные, проще в обслуживании и эксплуатации. Работают тише, по сравнению, например, с пневматическими, что способ-

ствует улучшению условий труда, а также не требуют дополнительной инфраструктуры в виде трубопроводов и насосов или компрессоров для создания энергии давления рабочей жидкости или газа.

Пневматические приводы обеспечивают высокую скорость работы, что делает их идеальными для и быстрого перемещения. Не требуют дополнительных устройств преобразования вида движения, в отличие от электрического привода, где в некоторых случаях требуется механизм преобразования вращательного вида движения в поступательное. Самое главное преимущество – это быстродействие. Однако пневматические приводы могут иметь меньшую точность позиционирования и регулировки скорости по сравнению с электрическими. Для работы пневматических систем необходима дополнительная инфраструктура в виде пневмопроводов, компрессора, блока подготовки воздуха и др., что увеличивает сложность системы и требует дополнительного обслуживания. Для точных систем пневмоприводы менее энергоэффективны, так как сжатый воздух обеспечивает дискретное перемещение.

Гидравлические системы обеспечивают высокую мощность и крутящий момент при компактных размерах, что позволяет эффективно использовать пространство в механизмах. Они способны передавать большие усилия, что делает их идеальными для тяжелых приложений, таких как экскаваторы, пресс-формы и подъемные механизмы. Гидроприводы могут быть менее эффективными по сравнению с электрическими системами в некоторых аспектах, таких как энергозатраты и скорость реакции. Они также требуют дополнительную инфраструктуру для перекачки жидкости, насосы, трубопроводы и т.д.

В дальнейшем исследовании будет рассматриваться именно электрический привод для модуля линейного перемещения. Данный выбор обусловлен отсутствием необходимости в наличии дополнительной инфраструктуры, гибкостью управления движением, дешевизной и мелкими габаритами проекта. Объект исследования – это мехатронное устройство линейного перемещения. В данном контексте мы будем рассматривать устройство, предназначенное для перемещения по прямолинейной траектории, что продиктовано требованиями о простоте и повышенных нагрузках и стабильностью в работе. Прямые рельсы идеально подходят для задач, требующих линейного перемещения, таких как автоматизация сборочных процессов, упаковка и другие производственные операции. В отличие от систем с криволинейной траекторией, которые могут быть более сложными в управлении и требовать дополнительных механизмов для обеспечения плавности движения, устройства с прямолинейным рельсом предлагают простоту конструкции и легкость в обслуживании.

Роботы и мехатронные системы линейного перемещения играют важную роль в логистике, обеспечивая автоматизацию процессов, повышение эффективности и снижение затрат. Автоматизация тяжелых и повторяющихся задач снижает риск травм среди работников. Роботы могут работать в зонах опасных условиями, минимизируя риски для человека:

- системы хранения и извлечения (AS/RS): мехатронные системы могут автоматически перемещать товары между зонами хранения и загрузки, что минимизирует время простоя и увеличивает скорость обработки запросов;
- упаковочные линии: мехатронные системы могут автоматизировать процессы упаковки, обеспечивая высокую скорость и точность.

Внедрение мехатронных систем линейного перемещения в логистику повышает эффективности и качества логистических процессов. Эти технологии не только ускоряют процессы, но и способствуют улучшению качества труда сотрудников, которые сталкиваются с меньшим количеством травм на рабочем месте. С ростом технологий и уменьшением цен на автоматизацию, мехатронные системы легче берут на себя работу в логистике, которая не по силам человеку. На рис. 5. Изображено применение пятиосевого робота к модулю линейного перемещения в работе на складе.

Устройства линейного перемещения применяются в машиностроении и тяжелой промышленности, обеспечивая скорость и надежность при выполнении вспомогательных задач. Далее рассмотрим примеры подобных технологических внедрений в России сегодня.

Заводы «КамАЗ» и «ВАЗ»: на Камском автомобильном заводе активно используются роботизированные системы для автоматизации сборочных процессов. На Волжском автомобильном заводе заготовки перемещаются по линейной траектории вдоль линии сборки, проходя все этапы [2]. Устройства линейного перемещения (рис. 6) помогают в точной и быстрой сборке автомобилей, что способствует повышению производительности и конкурентоспособности.



Рис. 5. Пример мехатронного устройства линейного перемещения в логистике



Рис. 6. На ВАЗ заготовки доставляются на следующий этап по платформам линейного перемещения

Северсталь: в металлургической компании «Северсталь» внедрены системы автоматизированного управления и транспортировки, использующие линейные механизмы для перемещения заготовок и готовой продукции.

Завод по производству электроники «Электрон»: на заводе «Электрон» в России используются роботы для сборки электронных компонентов, которые применяют линейные приводы для точного перемещения по конвейерным линиям.

В результате исследования принято решение использовать электрический привод для дальнейшего исследования. Произведен анализ конструкции и структурной схемы устройств линейного пере-

мещения. Они становятся неотъемлемой частью современного машиностроения и тяжелой промышленности в России. Их применение позволяет значительно повысить эффективность производственных процессов, сократить затраты и улучшить качество продукции. С ростом интереса к автоматизации, ожидается дальнейшее развитие этих технологий в отечественной промышленности.

Список источников

1. Мартынов А. А. Электрический привод.: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2013. 429 с.: ил.
2. Куликов А. В., Христов П. Н. Автомобили LADA. Технологии технического обслуживания.: сборник технических инструкций и процессов. Тольятти, 2009. 100 с., ил.

УДК 621.3.013

Р. А. Литвинов

студент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. А. Ганьшин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ: ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ

Данная обзорная статья посвящена систематизации и анализу современных подходов и алгоритмов идентификации электромагнитного поля (ЭМП), применяемых в различных областях электротехники. В настоящей статье представлен обзор и анализ алгоритмов идентификации электромагнитных полей электротехнических устройств и их применения в технике. Коротко рассмотрены методы решения обратных задач. Обзор охватывает как классические методы, основанные на решении обратных задач электродинамики, так и современные алгоритмы машинного обучения, демонстрирующие значительный потенциал в решении сложных задач идентификации.

В современном мире, где технологии развиваются с невероятной скоростью, вопросы контроля состояния различных электротехнических устройств становятся все более актуальными. Одной из ключевых областей, требующих особого внимания, является идентификация электромагнитных полей. Это направление имеет важное значение для обеспечения надежной и безопасной работы технических устройств в самых разных сферах, таких как энергетика, телекоммуникации, медицина и многие другие.

Алгоритмы идентификации электромагнитных полей позволяют определить характеристики источников этих полей, что может быть полезно в различных ситуациях. Например, в электротехнике такие алгоритмы могут помочь в определении параметров объекта, его о состоянии или режима работы. В энергетике они могут использоваться для контроля состояния оборудования и предотвращения аварий.

Основные понятия и задачи идентификации ЭМП

Распределение и характеристики ЭМП, включающие напряженность электрического и магнитного полей, напрямую влияют на уровень генерируемых электромагнитных помех, надежность систем, а также на безопасность персонала, эксплуатирующего оборудование, и на состояние окружающей среды. Точное знание о распределении и параметрах ЭМП становится критически важным для задач оптимизации конструкции устройств, точной диагностики возникающих неисправностей и потенциальных дефектов, обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) сложного электронного оборудования, функционирующего в непосредственной близости, и эффективного управления электромагнитной обстановкой в широком спектре промышленных, научных и бытовых применений. Внешние поля электротехнических устройств можно использовать как информационные, что и позволяет использовать их для контроля и диагностики [1].

Несмотря на значительный прогресс в области измерительной техники, прямое измерение ЭМП внутри сложных технических объектов, таких как мощные силовые трансформаторы, электрические машины различного типа или высоковольтные распределительные устройства, зачастую представляет собой чрезвычайно сложную, а порой и принципиально неразрешимую задачу. Ограничения могут быть связаны с целым рядом факторов, включая физическую недоступность точек измерения, обусловленную конструктивными особенностями оборудования, наличие экранирующих корпусов и элементов, искажающих структуру поля, вносимое влияние измерительной аппаратуры на распределение ЭМП, а также экстремальные условия эксплуатации, такие как высокие температуры, сильные вибрации или агрессивные химические среды.

В связи с указанными ограничениями, в последние годы наблюдается значительный рост интереса к разработке и применению алгоритмов идентификации ЭМП. Эти алгоритмы позволяют восстанавливать информацию об источнике поля объекта на основе косвенных измерений, например, по измерениям на внешней поверхности устройства, или на основе априорных данных, включающих информацию о геометрии, материалах, режимах работы и других параметрах исследуемого объекта. Такие алгоритмы, опирающиеся на мощный арсенал методов математического моделирования, вычисли-

тельной электродинамики, теории обратных задач [2], статистического анализа, теории вероятностей и современного машинного обучения [3], предоставляют уникальную возможность получать ценную и детальную информацию о распределении и параметрах ЭМП, которая недоступна при использовании традиционных методов прямых измерений. Алгоритмы идентификации ЭМП позволяют не только определить характеристики источников поля, но и визуализировать распределение поля внутри объекта, выявлять зоны концентрации энергии и оценивать степень влияния различных факторов на структуру поля.

Определение и характеристики ЭМП

Необходимо дать строгое и четкое определение ЭМП как физической сущности, представляющей собой совокупность электрического и магнитного полей, взаимосвязанных и распространяющихся в пространстве. Надлежит определить основные характеристики электромагнитного поля, включая напряженность электрического поля (E), напряженность магнитного поля (H), вектор Пойнтинга (S), определяющий плотность потока энергии, частоту (f), поляризацию и другие параметры, а также рассмотреть их взаимосвязь с источниками поля (токи, заряды) и параметрами окружающей среды (диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость, проводимость).

Прямые и обратные задачи электродинамики

Необходимо четко разграничить понятия прямой и обратной задачи электродинамики. Прямая задача – это задача определения распределения ЭМП в заданной области пространства при известных источниках поля, геометрии области и граничных условиях. Обратная задача – это задача определения характеристик источников поля, геометрии области или параметров среды на основе известного распределения ЭМП, измеренного в некоторой области пространства. Следует подчеркнуть, что обратные задачи, в отличие от прямых, часто являются некорректно поставленными и их решение может быть неустойчивым по отношению к малым изменениям входных данных или наличию шума в измерительных данных.

Постановка задачи идентификации ЭМП

Необходимо сформулировать общую математическую постановку задачи идентификации ЭМП, определив типы искоемых параметров, которые необходимо определить (например, местоположение, амплитуда, частота и фаза источников поля; форма и размеры границ области; диэлектрическая и магнитная проницаемость среды), а также типы доступных измерительных данных, которые могут включать значения электрического и магнитного полей в заданных точках пространства, интегральные характеристики поля (например, мощность излучения) или данные о рассеянии электромагнитной энергии. Важно подчеркнуть роль априорной информации (например, о типе источников, геометрических размерах и материалах исследуемого объекта, режимах его работы) в стабилизации решения задачи идентификации и повышении точности получаемых результатов.

Классификация алгоритмов идентификации ЭМП

К основным критериям классификации алгоритмов идентификации ЭМП следует отнести:

- тип используемого математического аппарата (классические методы решения обратных задач, алгоритмы машинного обучения, гибридные методы);
- тип решаемой обратной задачи (определение источников поля, реконструкция геометрии объекта, определение параметров материалов);
- тип входных данных (измерения электрического и магнитного полей, измерения импеданса, данные о рассеянии электромагнитной энергии);
- область применения (электроэнергетика, электротехника, связь, медицина);
- требования к вычислительным ресурсам и времени решения задачи.

Классические методы решения обратных задач электродинамики

1. Метод конечных элементов (МКЭ). Метод конечных элементов (МКЭ) – это численный метод для решения дифференциальных уравнений, часто используемый для моделирования физических явлений, включая электромагнитные поля. Он разбивает сложную область на множество маленьких, простых элементов (например, треугольники или тетраэдры). Для каждого элемента уравнение решается приближенно, а затем результаты “сшиваются” для получения решения во всей области. МКЭ универсален, может моделировать сложные геометрии и неоднородные среды, что делает его мощным ин-

струментом в электротехнике. Рассмотрение особенностей применения МКЭ для решения обратных задач, включает в себя выбор подходящего функционала невязки, построение матрицы чувствительности, применение методов оптимизации (например, метод градиентного спуска, метод Ньютона) и техник регуляризации [4].

Метод моментов (ММ). Метод Моментов (ММ) – это численный метод, используемый для решения интегральных уравнений, которые часто возникают в электродинамике при анализе излучения и рассеяния электромагнитных волн. В отличие от дифференциальных методов, таких как МКЭ, ММ работает непосредственно с интегральными уравнениями, что делает его особенно удобным для задач, где необходимо учитывать поведение поля на бесконечности [5].

Метод граничных элементов (МГЭ). Метод граничных элементов (МГЭ) – это численный метод решения дифференциальных уравнений, преобразующий задачу из объемной в поверхностную. Вместо разбиения всего объема, как в МКЭ, МГЭ требует дискретизации только границы области. Это особенно эффективно для задач с бесконечными или полубесконечными областями. МГЭ использует интегральные уравнения, связывающие значения переменных на границе. После решения на границе, значения внутри области могут быть вычислены напрямую [6].

Методы регуляризации. Метод регуляризации – это группа математических приемов, применяемых для решения некорректно поставленных задач, таких как обратные задачи в электродинамике. Основная идея заключается в том, чтобы добавить в задачу дополнительную информацию или ограничения (регуляризирующий член) для стабилизации решения и получения осмысленного результата, устойчивого к малым изменениям входных данных (например, шуму в измерениях). Регуляризация позволяет найти компромисс между точностью соответствия данным и гладкостью (или другими желаемыми свойствами) решения. Примеры регуляризирующих членов: норма решения, производная решения, функция Тихонова.

Алгоритмы машинного обучения для идентификации ЭМП

Использование нейронных сетей. Нейросети подходят для идентификации ЭМП, так как способны аппроксимировать сложные нелинейные зависимости между измерениями поля и параметрами источников или объектов. Обученная нейросеть может быстро и точно восстанавливать информацию о поле, заменяя ресурсоемкие численные расчеты. Они используются для локализации источников, реконструкции геометрии и определения свойств материалов, требуя большого объема обучающих данных.

Использование генетических алгоритмов. Генетические алгоритмы (ГА) в идентификации ЭМП используются для поиска наилучшего набора параметров (например, положения и силы источников), которые соответствуют измеренным значениям ЭМП. ГА работают, по аналогии с биологией, создавая "популяцию" случайных решений, оценивая их соответствие, отбирая лучшие, "скрещивая" и "мутируя" их для создания новых поколений решений, постепенно улучшая соответствие измеренным данным. Они полезны в сложных задачах, где традиционные методы оптимизации могут застрять в локальных минимумах [7].

Использование методов опорных векторов (SVM). Метод опорных векторов (SVM) в идентификации ЭМП используется для классификации источников поля по их характеристикам (например, тип источника, частота) или для регрессии, предсказывая значения параметров поля (например, мощность излучения) на основе измерений. SVM находит оптимальную разделяющую гиперплоскость между классами (в классификации) или строит функцию, аппроксимирующую зависимость между входными и выходными данными (в регрессии), используя только небольшое подмножество обучающих данных – "опорные векторы".

Примеры применения алгоритмов идентификации ЭМП в электротехнике

Идентификация источников ЭМП. Примером идентификации электромагнитных полей в электротехнике может служить диагностика силового трансформатора на основании пространственной картины напряженности его магнитного поля. Измерения электромагнитного поля, выполненные на внешней поверхности трансформатора, используются в качестве входных данных для алгоритмов решения обратных задач электродинамики, таких как метод конечных элементов или нейронные сети. Целью

является восстановление пространственного распределения поля внутри трансформатора, что позволяет выявить области с аномально высокой напряженностью, которые могут указывать на потенциальные дефекты изоляции или другие проблемы в конструкции.

Оценка электромагнитной обстановки. Алгоритмы идентификации ЭМП используются для оценки электромагнитной обстановки в помещениях различного назначения. Например, в офисных зданиях измеряют ЭМП от компьютеров и Wi-Fi, а затем, применяя алгоритмы, определяют зоны с превышением норм и разрабатывают меры по экранированию. В больницах оценивают влияние ЭМП от медицинского оборудования на пациентов, моделируя распределение поля и оптимизируя расположение оборудования.

Диагностика неисправностей. Алгоритмы идентификации ЭМП применяются для диагностики неисправностей в электротехническом оборудовании, позволяя выявлять дефекты без разборки устройств. Например, в электрических машинах измеряют магнитное поле, и по его отклонениям от нормы, вычисленным алгоритмами, определяют наличие короткозамкнутых витков в обмотках. В кабельных линиях, измеряя ЭМП вдоль трассы, локализируют места повреждения изоляции по аномальным значениям напряженности поля, позволяя точно определить место ремонта.

Оптимизация конструкции. Примером может служить оптимизация конструкции импульсного источника питания. Идентификация ЭМП используется для минимизации электромагнитных помех (ЭМП) без дорогостоящего экранирования. Сначала моделируют ЭМП от различных вариантов компоновки элементов схемы. Затем, используя генетические алгоритмы или другие методы оптимизации, подбирают оптимальное расположение компонентов и форму проводников, снижающие уровень генерируемых помех, что позволяет создать более компактное и электромагнитно совместимое устройство.

Список источников

1. *Кирпанев А. В., Лавров В. Я.* Электромагнитное поле: Теория идентификации и ее применение: учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е. М.: Вузовская книга», 2005. 280 с.
2. *Бухгейм А. Л.* Введение в теорию обратных задач. М.: Наука, 1988. 181 с.
3. *Bishop C. M.* Pattern Recognition and Machine Learning. Springer. 2006. 746 с.
4. *Дайтов Р. З., Карчевский М. М.* Введение в теорию метода конечных элементов: учеб. пособие. Казань: КГУ им. В. И. Ульянова–Ленина, 2004. 239 с.
5. *Walton C. Gibson.* The Method of Moments in Electromagnetics Third Edition. CRC Press. 2022. 510 с.
6. *Кацикаделис Дж. Т.* Граничные элементы. Теория и приложения / Пер. с англ. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. 348 с.
7. *Goldberg D. E.* Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addison-Wesley, 1989. 412 с.

УДК 621.3.013

Р. А. Литвинов

студент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. А. Ганьшин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В статье кратко рассматривается широкий спектр практических применений алгоритмов расчета электромагнитных полей (ЭМП) в различных областях науки и техники. Описываются ключевые алгоритмические подходы, используемые для моделирования и анализа ЭМП, а также приводятся конкретные примеры их применения в проектировании радиоэлектронных устройств, в медицине, в неразрушающем контроле и других областях. Особое внимание уделяется современным тенденциям и перспективам развития методов расчета ЭМП.

Электромагнитные поля (ЭМП) являются фундаментальным физическим явлением, лежащим в основе функционирования широкого спектра современных технологий. От систем беспроводной связи и радиолокации до медицинского оборудования и промышленной автоматизации, эффективность, надежность и безопасность этих технологий напрямую зависят от точности моделирования и анализа ЭМП.

Задача расчета ЭМП возникает на различных этапах проектирования и эксплуатации технических систем. В частности, при разработке радиоэлектронных устройств необходимо учитывать влияние электромагнитного окружения на характеристики антенн, волноводов и других компонентов. В медицинской инженерии расчет ЭМП используется для оптимизации режимов воздействия на биологические ткани в целях диагностики и терапии. В неразрушающем контроле моделирование ЭМП позволяет определять наличие и параметры дефектов в материалах.

Развитие методов расчета ЭМП является актуальной научной и инженерной задачей. Современные алгоритмические подходы позволяют моделировать сложные электромагнитные явления.

Основные алгоритмы расчета электромагнитных полей

Существует несколько основных алгоритмических подходов, каждый из которых имеет свои сильные и слабые стороны, определяющие область его применения. К их числу относятся:

- метод конечных элементов (МКЭ): разбивает модель на элементы, аппроксимирует поле внутри них, позволяет моделировать сложные формы, но требует больших вычислительных ресурсов;
- метод конечных разностей (МКР): разбивает пространство на сетку, аппроксимирует производные, удобен для моделирования распространения радиоволн, но требует равномерной сетки;
- метод моментов (ММ): подходит для задач с проводящими объектами, моделирует поле как сумму базисных функций;
- другие методы: существуют и другие методы, например, метод граничных элементов (МГЭ), который подходит для однородных сред, и асимптотические методы (геометрическая оптика, физическая оптика), применимые для задач, где размер объекта намного больше длины волны.

Применение в проектировании радиоэлектронных устройств

Алгоритмы расчета ЭМП стали неотъемлемой частью процесса проектирования радиоэлектронных устройств:

- проектирование антенн: алгоритмы расчета ЭМП позволяют моделировать антенну в ее реальном окружении, учитывая влияние земли, зданий, других устройств. Например, при проектировании антенны для мобильного телефона необходимо обеспечить стабильную связь даже в условиях городской застройки. Для этого используют МКЭ или ММ, чтобы учесть влияние корпуса телефона, головы пользователя и окружающих объектов на характеристики антенны. Программные пакеты, такие как ANSYS HFSS и CST Studio Suite, стали стандартом в этой области;
- разработка волноводов и резонаторов: волноводы и резонаторы используются для передачи и хранения электромагнитной энергии в СВЧ-устройствах. Расчет ЭМП позволяет точно определить

их характеристики: потери, дисперсию, модовый состав для волноводов, и добротность, резонансную частоту для резонаторов. Это необходимо, например, при проектировании волноводного фильтра для спутниковой связи, где требуется обеспечить очень узкую полосу пропускания и минимальные потери сигнала;

– анализ электромагнитной совместимости (ЭМС): в современном мире, где электронные устройства работают бок о бок, электромагнитные помехи могут стать серьезной проблемой. Алгоритмы расчета ЭМП позволяют моделировать распространение этих помех и разрабатывать меры по их снижению: экранирование, фильтрацию, оптимизацию топологии печатных плат. Например, при разработке печатной платы для высокоскоростного цифрового устройства необходимо тщательно проанализировать электромагнитное излучение от проводников и предотвратить перекрестные помехи;

– проектирование интегральных схем: на высоких частотах даже маленькие проводники на интегральной схеме начинают вести себя как элементы антенны, излучая и принимая электромагнитные волны. Алгоритмы расчета ЭМП позволяют учитывать эти эффекты и оптимизировать топологию схемы для обеспечения стабильной работы.

Применение в медицине

В медицине алгоритмы расчета ЭМП открывают новые возможности для диагностики и лечения:

– магнитно-резонансная томография (МРТ) представляет собой метод медицинской визуализации, позволяющий получать высокодетализированные изображения внутренних органов и тканей. Качество формируемых изображений напрямую зависит от однородности и напряженности магнитного поля, генерируемого в сканирующей системе. Алгоритмы расчета электромагнитных полей используются для оптимизации конструкции радиочастотных катушек, создающих необходимое поле, что позволяет существенно повысить качество получаемых изображений. Путем точного моделирования распределения ЭМП внутри сканера, можно добиться повышения однородности поля в области интереса, уменьшения артефактов и, как следствие, улучшения пространственного разрешения изображений. Кроме того, оптимизация конструкции катушек, основанная на расчетах ЭМП, позволяет повысить пространственное разрешение МРТ-изображения [1];

– гипертермия представляет собой метод лечения онкологических заболеваний, основанный на локальном повышении температуры опухолевых тканей до диапазона 41-45 °С, что индуцирует апоптоз и некроз раковых клеток. Алгоритмы расчета электромагнитных полей играют ключевую роль в планировании и реализации гипертермических процедур, обеспечивая возможность точного расчета распределения энергии электромагнитного поля в теле пациента. Это позволяет оптимизировать параметры аппликаторов (источников электромагнитного излучения), такие как частота, мощность и геометрия, для достижения селективного и равномерного нагрева опухоли, минимизируя при этом тепловое воздействие на окружающие здоровые ткани. Таким образом, планирование лечения онкологических заболеваний с использованием гипертермии, основанное на расчетах ЭМП, является примером применения алгоритмического моделирования для повышения эффективности и безопасности терапевтических вмешательств [2];

– алгоритмы расчета ЭМП позволяют рассчитать распределение электромагнитной энергии в теле пациента и оптимизировать параметры аппликаторов, чтобы обеспечить равномерный нагрев опухоли, не затрагивая здоровые ткани. Планирование лечения рака с помощью гипертермии – яркий пример применения этих алгоритмов;

– электростимуляция: Электростимуляция используется для лечения различных заболеваний, от хронической боли до депрессии. Алгоритмы расчета ЭМП позволяют моделировать распределение электрического поля в тканях и оптимизировать положение электродов для достижения максимального эффекта. Например, при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) необходимо точно направить магнитное поле в определенную область мозга, что требует точного моделирования;

– диагностика: Разрабатываются перспективные методы диагностики, основанные на анализе взаимодействия магнитных полей и биологических тканей. Данный подход предполагает использование электромагнитного излучения различных частотных диапазонов для зондирования тканей и получения информации об их структуре и составе. В частности, микроволновая радиолокация рассматривается как потенциально эффективный метод обнаружения рака на ранних стадиях [3]. В основе мето-

да лежит различие в диэлектрической проницаемости и проводимости здоровых и пораженных тканей, что приводит к изменению характеристик отраженного микроволнового сигнала. Дальнейшее развитие данного направления требует разработки высокочувствительных измерительных систем, алгоритмов обработки сигналов и методов интерпретации полученных данных. Важным аспектом является также учет влияния гетерогенности тканей и индивидуальных особенностей пациента на результаты измерений.

Применение в неразрушающем контроле

Алгоритмы расчета ЭМП играют важную роль в обеспечении безопасности и надежности технических систем. К числу методов относятся:

- магнитопорошковый метод: этот метод неразрушающего контроля визуализирует дефекты в ферромагнетиках, используя магнитный порошок, который скапливается в местах искажения магнитного поля, вызванных дефектами. Он широко применяется для обнаружения поверхностных трещин и других дефектов в металлических изделиях;

- индукционный метод: метод измерения магнитного поля, основанный на измерении ЭДС, индуцированной в катушке при изменении магнитного потока. Такие датчики применяются в металлодетекторах, датчиках скорости и положения, а также в промышленных системах;

- магниторезистивный метод: в этом методе используется изменение электрического сопротивления магниторезистивного материала под воздействием магнитного поля для измерения его величины. Магниторезистивные сенсоры широко применяются в автомобильной промышленности, электронике и биомедицинских приложениях;

- магнитографический метод: метод основан на записи информации путем намагничивания материала носителя и последующем считывании изменений магнитного поля для воспроизведения записанной информации. Эта технология широко используется в жестких дисках и других устройствах хранения данных;

- феррозондовый метод: этот высокочувствительный метод измеряет слабые магнитные поля, используя феррозонд – датчик, сердечник которого возбуждается переменным полем, и измеряется изменение его магнитных свойств под воздействием внешнего поля. Феррозонды применяются в геофизике, космических исследованиях и биомагнетизме;

- метод эффекта Холла: метод измерения магнитного поля, основанный на возникновении напряжения Холла в проводнике с током, помещенном в магнитное поле. Сенсоры Холла используются в автомобильной промышленности, электронике и системах автоматического управления;

- пондеромоторный метод: это метод измерения магнитных полей, основанный на измерении силы, действующей на пробное тело с известным магнитным моментом в магнитном поле. Пондеромоторные магнитометры применяются в лабораторных условиях для калибровки и прецизионных измерений.

С методами неразрушающего контроля можно кратко ознакомиться в [4].

Применение в энергетике

Применение алгоритмов расчета электромагнитных полей (ЭМП) в энергетике играет важную роль в проектировании, эксплуатации и оптимизации различных электроэнергетических систем. В частности, при проектировании и измерениях линий электропередач (ЛЭП) расчеты ЭМП необходимы для оптимизации геометрии проводов, определения распределения электрического поля вблизи ЛЭП, и минимизации потерь энергии на излучение. Это позволяет повысить эффективность передачи электроэнергии и обеспечить соответствие требованиям электромагнитной совместимости и санитарным нормам.

При проектировании трансформаторов алгоритмы расчета ЭМП используются для анализа распределения магнитного поля в сердечнике трансформатора, оптимизации его конструкции и снижения потерь энергии на гистерезис и вихревые токи. Важным является также расчет внешнего электромагнитного поля трансформатора для оценки его влияния на окружающее оборудование и персонал, а также для обеспечения электромагнитной совместимости. Это позволяет создавать более эффективные и надежные трансформаторы.

При проектировании электрических машин (например, двигателей и генераторов) расчеты ЭМП применяются для оптимизации геометрии обмоток, анализа электромагнитных сил, действующих на элементы конструкции, и снижения электромагнитных помех. Это позволяет улучшить характеристики электрических машин, повысить их КПД и надежность, определить, возможно, уменьшить влияние магнитного поля на персонал и оборудование.

Алгоритмы расчета ЭМП также востребованы при разработке и анализе электромагнитного облучения для систем беспроводной передачи энергии и других инновационных технологий в энергетике. Моделирование ЭМП позволяет оптимизировать параметры этих систем и обеспечить их эффективную и безопасную работу. Кроме того, расчеты ЭМП важны для анализа электромагнитных помех и разработки мер по их подавлению в различных электроэнергетических системах, что обеспечивает устойчивость и надежность их работы. Ознакомиться с методами расчета электрических и магнитных полей можно в [5].

Другие области применения

Алгоритмы расчета ЭМП находят широкое применение в различных областях, включая геофизику (для электроразведки и определения структуры земной коры), транспорт (для проектирования систем беспроводной зарядки электромобилей и оптимизации работы электрооборудования поездов и самолетов), радиотехнику (при разработке антенн, фильтров и других радиоэлектронных компонентов), а также в военной технике (для создания радиолокационных систем, систем радиоэлектронной борьбы и средств связи). Моделирование ЭМП позволяет решать задачи обнаружения и идентификации объектов, оптимизации параметров антенных систем и обеспечения электромагнитной совместимости различных устройств.

Алгоритмы расчета электромагнитных полей являются мощным инструментом, который находит применение в самых разнообразных областях науки и техники. Дальнейшее развитие этих алгоритмов связано с разработкой новых математических моделей, повышением вычислительной эффективности и расширением области применимости. Важным направлением является также применение высокопроизводительных вычислительных систем, включая графические процессоры (GPU) и кластерные системы, для решения сложных задач, требующих значительных вычислительных ресурсов.

Развитие алгоритмов расчета ЭМП будет способствовать прогрессу во многих областях, от беспроводной связи и медицины до энергетики и транспорта, делая нашу жизнь более комфортной и безопасной. Совершенствование методов моделирования ЭМП позволит создавать более эффективные и надежные устройства и системы, а также разрабатывать новые технологии, основанные на использовании электромагнитных волн. Это открывает широкие перспективы для развития науки и техники в XXI веке.

Список источников

1. Разработка и применение имплантных катушек для получения МРТ-изображений с высоким пространственным разрешением / М. В. Гуляев и др. // Биомедицинская радиоэлектроника. 2018. № 4. С. 41–51.
2. *Никифоров В. Н., Брусенцов Н. А.* Магнитная гипертермия в онкологии // Медицинская физика. 2007. № 2. С. 51–59.
3. Патент РФ 182 552. Неинвазивное СВЧ устройство выявления рака молочной железы / Минин И. В., Минин О. В. Заявл. 04.05.2018. Оpubл. 22.08.2018.
4. *Толмачев И. И.* Магнитные методы контроля и диагностики: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 216 с.
5. Методы расчета электрических и магнитных полей: учеб. комплект / В. Э. Фризен и др. Екатеринбург: УрФУ, 2014. 176 с.

УДК 620.179.14

Р. А. Литвинов

студент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. А. Ганьшин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОБЗОР МЕТОДОВ И ПЕРСПЕКТИВ

Статья посвящена систематическому обзору различных методов регистрации магнитного поля, используемых в диагностике электротехнических объектов. Рассмотрены принципы работы, преимущества и ограничения магнитопорошкового, индукционного, магниторезистивного, магнитографического, феррозондового методов, метода эффекта Холла, а также пондеромоторного метода. Описано применение данных методов для выявления дефектов изделий в различных областях. Обсуждаются перспективы развития, связанные с совершенствованием датчиков и алгоритмов обработки данных, а также с разработкой новых методов регистрации магнитного поля.

Надежность и безопасность электроэнергетических систем во многом зависят от состояния электротехнического оборудования. Своевременное выявление дефектов и прогнозирование остаточного ресурса позволяет предотвратить аварийные ситуации, снизить затраты на ремонт и техническое обслуживание, а также повысить эффективность работы оборудования. Диагностика электротехнических объектов является сложной задачей, требующей комплексного подхода и применения различных методов контроля. Одним из наиболее перспективных направлений является использование магнитного поля, как информативного параметра, отражающего состояние оборудования. Анализ магнитного поля позволяет выявлять дефекты на ранних стадиях, когда они еще не привели к серьезным последствиям. Методы, основанные на анализе магнитного поля, обладают рядом преимуществ, таких как:

- неразрушающий характер контроля, позволяющий проводить диагностику без вывода оборудования из эксплуатации;
- возможность дистанционного контроля, обеспечивающая безопасность персонала;
- высокая чувствительность к различным дефектам, включая поверхностные, подповерхностные и внутренние;
- возможность получения информации о физических и механических свойствах материалов.

Методы диагностики, основанные на анализе магнитного поля

К методам диагностики, основанные на анализе магнитного поля, относятся:

- магнитопорошковый метод;
- индукционный метод;
- магниторезистивный метод;
- магнитографический метод;
- феррозондовый метод;
- метод эффекта Холла;
- пондеромоторный метод [1].

Магнитопорошковый метод

Магнитопорошковый метод основан на использовании магнитного порошка, который наносится на поверхность контролируемого объекта. В местах концентрации магнитного поля, возникающих из-за дефектов, частицы порошка притягиваются и образуют индикаторный рисунок, визуализирующий дефект. Магнитопорошковый метод широко используется для выявления поверхностных и подповерхностных (глубиной до 2 мм) дефектов, таких как трещины, надрывы и раковины, в ферромагнитных материалах.

К преимуществам можно отнести простоту реализации, высокую чувствительность к поверхностным дефектам, возможность визуального контроля. Метод, однако, применим только для ферромаг-

нитных материалов, требует тщательной подготовки поверхности, не позволяет автоматизировать процесс контроля [2].

Индукционный метод

Индукционный метод основывается на регистрации изменений магнитного потока с помощью индукционных преобразователей. Контролируемый объект предварительно намагничивают, и специальную приемную катушку индуктивности постепенно смещают вдоль его оси. При наличии дефектов в объекте контроля происходит изменение магнитного поля, которое фиксируется катушкой индуктивности и преобразуется в электрический сигнал.

Индукционный метод подходит для обнаружения дефектов, находящихся в глубине исследуемых изделий и скрытых от непосредственного визуального контроля. Тем не менее, специфические особенности данного метода не всегда обеспечивают надежное выявление дефектов, расположенных непосредственно на поверхности изделия. К минусам индукционного метода диагностики также следует отнести недостаточную чувствительность при выявлении дефектов, характеризующихся малыми размерами. Для обеспечения всесторонней и комплексной диагностики, позволяющей обнаружить широкий спектр дефектов вне зависимости от их характера и расположения, рекомендуется использовать метод индукционного неразрушающего контроля в сочетании с другими методиками анализа, позволяющими компенсировать его ограничения и обеспечить максимально полную картину состояния контролируемого объекта [3].

Тем не менее, этот метод широко применяется на практике. Так, например, индукционный метод лежит в основе работы вагонов-дефектоскопов, предназначенных для оперативного магнитного контроля состояния железнодорожных путей, позволяя осуществлять диагностику на скорости до 40-50 км/ч. Кроме того, индукционный контроль успешно интегрирован в поточные линии производства сварных, горячекатаных, холоднокатаных и бесшовных труб, обеспечивая непрерывный контроль качества выпускаемой продукции.

Магниторезистивный метод

Магниторезистивный метод использует зависимость электрического сопротивления магниторезистивных преобразователей от величины магнитного поля. Изменение сопротивления, обусловленное воздействием магнитного поля, регистрируется измерительными устройствами и позволяет определить параметры магнитного поля. Метод находит применение при измерении слабых магнитных полей, контроле положения и перемещения, а также в системах магнитной записи и считывания информации. К преимуществам можно отнести высокую чувствительность, малые размеры и низкое энергопотребление. К недостаткам – зависимость от температуры, необходимость линеаризации характеристик и возможность насыщения в сильных магнитных полях.

Магнитографический метод

Магнитографический метод контроля основан на регистрации неоднородностей магнитного поля рассеяния, возникающих в зонах дефектов. Эти поля фиксируются с помощью эластичного магнитного носителя, обеспечивающего плотный контакт с контролируемой поверхностью, например, со сварным швом.

Процесс контроля состоит из двух основных этапов.

На первом проводится намагничивание объекта с использованием специализированного оборудования. В ходе этого этапа также происходит запись магнитных полей, обусловленных наличием дефектов, на магнитную ленту. Затем осуществляется воспроизведение и считывание записанной на ленту информации с применением магнитографического дефектоскопа.

Данный метод находит широкое применение при контроле стыковых сварных соединений, особенно при работе с материалами, максимальная толщина которых не превышает 25 мм, что характерно, например, для различных трубопроводов или кабелей.

Магнитография демонстрирует высокую эффективность в выявлении плоскостных дефектов, таких как трещины, непровары и несплавления, а также протяженных дефектов, представленных шлако-

выми включениями. В то же время, следует отметить, что обнаружение округлых дефектов, таких как поры и отдельные шлаковые включения, с помощью данного метода может быть затруднено [4].

Феррозондовый метод

Феррозондовый метод представляет собой один из способов неразрушающего контроля, в основе которого лежит принцип выявления и преобразования магнитного поля рассеяния, возникающего в зоне дефекта намагниченного изделия, с использованием феррозондового преобразователя. Этот преобразователь преобразует магнитное поле в соответствующий электрический сигнал, который затем анализируется. Феррозондовый метод контроля также рассматривается в [4].

Данный метод предназначен для обнаружения дефектов различного типа, нарушающих сплошность материала, как поверхностных, так и подповерхностных. К таким дефектам относятся волосовины, трещины, раковины, закаты, плены, ужимы и другие подобные дефекты.

Важной особенностью метода является возможность контроля изделий практически любых размеров и форм. Основным условием применимости является возможность намагничивания изделия до уровня, необходимого для создания достаточного магнитного поля рассеяния в области дефекта. Это условие напрямую связано с геометрическими параметрами изделия (соотношением длины к наибольшему поперечному размеру) и его магнитными свойствами.

Кроме того, феррозондовый метод может быть использован для выявления дефектов, нарушающих сплошность сварных швов, а также для оценки качества структуры материала и контроля геометрических размеров изделий.

Технологический процесс контроля с использованием феррозондового метода включает в себя ряд последовательных этапов:

- первоначальная подготовка изделия к проведению контроля;
- намагничивание контролируемого изделия;
- сканирование поверхности изделия с целью обнаружения сигнала от дефекта;
- принятие решения о годности изделия (разбраковка);
- размагничивание изделия после проведения контроля.

Метод эффекта Холла

Метод эффекта Холла основан на возникновении поперечной разности потенциалов в проводнике с током, помещенном в магнитное поле. Датчики Холла позволяют измерять величину магнитного поля по величине напряжения Холла. Метод применяется для измерения магнитных полей, определения положения и перемещения, а также в бесконтактных датчиках тока. К достоинствам относятся простота конструкции, широкий диапазон измеряемых частот и нечувствительность к вибрациям. Тем не менее, необходимо учитывать относительно низкую чувствительность, потребность в компенсации температурной зависимости и подверженность влиянию механических напряжений [5].

Пондеромоторный метод

Пондеромоторный метод контроля представляет собой разновидность магнитного неразрушающего контроля, базирующуюся на принципе взаимодействия между регистрируемым магнитным полем контролируемого объекта и магнитным полем, создаваемым постоянным магнитом, электромагнитом или рамкой с электрическим током [6].

В основе данного метода лежит измерение силы отрыва или притяжения, возникающей между постоянными магнитами или электромагнитами и контролируемым объектом. Величина этой силы пропорциональна квадрату индукции магнитного поля, существующего в зазоре между поверхностью объекта контроля и намагничивающим элементом.

Среди преимуществ пондеромоторных толщиномеров можно выделить их высокую чувствительность, компактные размеры и удобство эксплуатации измерительных датчиков. В то же время, следует учитывать и недостатки, такие как высокие требования к качеству поверхности объекта контроля (шероховатости) и сложность автоматизации процесса измерений.

Этот метод находит практическое применение, например, для измерения толщины никелевых и хромовых покрытий, в том числе в отраслях, предъявляющих повышенные требования к качеству, таких как аэрокосмическая промышленность, энергетика, промышленное оборудование.

Перспективы

В контексте развития магнитных методов неразрушающего контроля можно выделить несколько перспективных направлений.

Во-первых, значительный потенциал представляет разработка методик и средств измерений, позволяющих оценивать напряженно-деформированное состояние различных объектов. Ключевым шагом в этом направлении является создание эталонных образцов с аттестованными магнитными характеристиками, которые позволят обеспечить точность и надежность измерений.

Во-вторых, автоматизация процессов обработки диагностических данных открывает возможности для существенного сокращения времени анализа и снижения сопутствующих затрат. Кроме того, автоматизация позволяет минимизировать влияние субъективных ошибок, обеспечить высокую повторяемость и воспроизводимость результатов контроля.

В-третьих, перспективным направлением является применение нейронных сетей для обработки результатов контроля. Использование искусственного интеллекта позволяет снизить зависимость от человеческого фактора и повысить объективность оценки состояния контролируемого объекта.

В-четвертых, математическое моделирование физических процессов, лежащих в основе методов контроля, способствует более глубокому пониманию процессов, происходящих при проведении контроля. Это, в свою очередь, позволяет получать больше информации о характеристиках дефектов, таких как их размеры, типы и расположение.

В-пятых, важным аспектом повышения эффективности контроля является дополнительное обучение и непрерывное повышение квалификации персонала, осуществляющего контроль. Это также способствует снижению влияния человеческого фактора и, как следствие, повышению вероятности своевременного выявления дефектов.

Выбор метода регистрации магнитного поля для диагностики электротехнических объектов определяется конкретной задачей, требованиями к точности и надежности измерений, а также экономическими соображениями. Развитие новых материалов и технологий позволяет создавать более совершенные датчики и методы регистрации магнитного поля, которые будут способствовать повышению эффективности и надежности диагностики электротехнического оборудования.

Список источников

1. ГОСТ Р 56542–2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
2. Шелихов Г. С., Глазков Ю. А. Магнитопорошковый контроль: учеб. пособие. 3-е изд. М.: Спектр, 2021. 182 с.
3. Горбаш В. Г., Делендик М. Н., Павленко П. Н. Неразрушающий контроль в промышленности. Магнитный контроль // *Неразрушающий контроль и диагностика*. 2011. № 2. С. 48–63.
4. Толмачев И. И. Магнитные методы контроля и диагностики: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ. 2008. 216 с.
5. Перченко С. В., Станкевич Д. А. // *Вестник ВолГУ*. 2010. Серия 1 Вып. 13. С. 118–126.
6. Поверка и калибровка средств неразрушающего контроля: учеб. пособие / А. В. Архипов и др. М.: АСМС, 2019. 224 с.

УДК 621.3.013

Р. А. Литвинов

студент кафедры электромеханики и робототехники

Ю. А. Ганьшин – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОБЗОР И ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЯ**

В данной статье приведены и проанализированы основные проблемы, возникающие при определении параметров электромагнитных полей (ЭМП) реальных электротехнических объектов, а также возможные варианты решения их решения, охватывающий как совершенствование математических моделей и численных методов, так и применение современных алгоритмов машинного обучения и оптимизации. Подчеркнута необходимость разработки стандартов и методик для унификации подходов к определению ЭМП в реальных электротехнических объектах.

Определение параметров электромагнитных полей (ЭМП), генерируемых реальными электротехническими объектами (ЭТО), представляет собой сложную многоаспектную инженерную задачу, имеющую важное практическое значение и требующую комплексного подхода. Точная и надежная идентификация ЭМП необходима для решения широкого круга критически важных задач, охватывающих обеспечение электромагнитной совместимости (ЭМС) оборудования, всестороннюю оценку воздействия на здоровье человека и окружающую среду, оперативный контроль технического состояния энергетического оборудования, а также тонкую оптимизацию его функционирования для повышения эффективности. Однако, реальные объекты характеризуются целым рядом дополнительных параметров, существенно осложняющих процесс определения ЭМП. К ним относятся сложная геометрия и конфигурация оборудования, различные физические свойства используемых материалов, наличие нелинейных физических процессов и переменные режимы работы, приводящие к динамическому изменению характеристик поля. Все эти факторы существенно затрудняют расчет, моделирование и точное определение ЭМП.

1. Основные проблемы определения ЭМП реальных ЭТО

Определение ЭМП реальных ЭТО сопряжено с рядом существенных проблем, требующих инновационных подходов и нестандартных решений. Эти проблемы можно условно классифицировать по нескольким основным категориям, что позволит более структурировано подойти к поиску эффективных методов их преодоления и систематизации доступных знаний:

1.1. Сложная геометрия и конфигурация объектов

Реальные ЭТО, как правило, имеют сложную пространственную геометрию, характеризующуюся наличием разнообразных криволинейных поверхностей, острых углов и кромок, отверстий, выступов, углублений и других конструктивных элементов, зачастую расположенных в хаотичном порядке. Это приводит к формированию сложной и непредсказуемой структуры ЭМП, характеризующейся высокой степенью пространственной неоднородности и требующей использования высокоточных математических моделей и специализированных численных методов для адекватного расчета распределения поля. Кроме того, конфигурация ЭТО может меняться, это вносит погрешность, и необходимо тщательно оценивать степень упрощения модели для сохранения приемлемой точности результатов. Использование адаптивных методов построения сетки позволяет повысить точность расчетов в областях с высокой концентрацией поля, минимизируя при этом общие вычислительные затраты.

1.2. Неоднородность свойств материалов

Материалы, используемые в ЭТО, не являются идеально однородными. Неоднородность свойств материалов, таких как переменная диэлектрическая проницаемость, магнитная проницаемость и проводимость, приводит к неравномерному распределению ЭМП и усложняет расчеты. Свойства материалов могут зависеть от частоты, температуры и других факторов, что необходимо учитывать при определении ЭМП в широком диапазоне частот и режимах работы. Учет этих факторов увеличивает сложность математической модели, что требует больше ресурсов.

1.3. Нелинейные процессы

В некоторых ЭТО, например, в трансформаторах и электродвигателях, происходят нелинейные процессы, связанные с насыщением магнитной цепи и другими явлениями [1]. Эти процессы приводят к генерации высших гармоник и усложняют анализ ЭМП, создавая дополнительные частотные компоненты в спектре излучения. Для точного определения ЭМП в таких случаях необходимо использовать нелинейные модели и методы, учитывающие зависимость параметров материалов от напряженности поля и плотности тока. Нелинейные модели требуют применения итерационных численных методов для достижения сходимости решения, что увеличивает вычислительную нагрузку. Развиваются специальные методы ускорения сходимости, такие как метод Ньютона-Рафсона и его модификации.

1.4. Переходные режимы работы

Реальные ЭТО, такие как трансформаторы, электродвигатели, генераторы или линии электропередач, могут работать в переходных режимах, характеризующихся изменением нагрузки, напряжения, тока и других параметров [2]. Это приводит к изменению распределения ЭМП во времени и требует использования методов, позволяющих отслеживать динамику поля. Анализ переходных процессов требует решения нестационарных задач электродинамики, что значительно усложняет моделирование. Для сокращения времени расчетов применяют методы декомпозиции, позволяющие разделить задачу на несколько подзадач, решаемых независимо.

1.5. Влияние окружающей среды

ЭМП реальных ЭТО подвергаются влиянию окружающей среды, например, отражению от стен или иных препятствий, экранированию, ионизации воздуха и другим факторам. Это приводит к искажениям.

1.6. Ограниченность доступа к информации об объекте

Для точного и достоверного определения параметров ЭМП, генерируемых электротехническим объектом, необходимо располагать исчерпывающим объемом полной и достоверной информации об этом ЭТО. Этот информационный массив должен включать в себя детальные геометрические размеры всех конструктивных элементов, точные физические и химические свойства материалов, используемых при изготовлении, параметры режимов работы оборудования (напряжение, ток, частота, мощность и т. д.) а также сведения о конфигурации оборудования, включая расположение отдельных компонентов и соединительных элементов. Отсутствие или неполнота хотя бы одного из указанных параметров может внести существенную погрешность в результаты моделирования и расчетов ЭМП, что приведет к снижению надежности и достоверности получаемых выводов и затруднит принятие обоснованных решений по обеспечению ЭМС, оценке воздействия на окружающую среду и оптимизации работы оборудования.

2. Возможные варианты решения проблем определения ЭМП реальных ЭТО

Для решения проблем определения ЭМП реальных ЭТО могут быть использованы различные подходы, приведенные ниже.

2.1. Совершенствование математических моделей и численных методов

Одним из основных направлений является совершенствование математических моделей и численных методов, используемых для расчета распределения ЭМП. Это включает:

1. Разработку моделей, учитывающих сложную геометрию и конфигурацию объектов: необходимо активно использовать методы конечных элементов (МКЭ), конечных разностей во временной области (FDTD) и граничных элементов (МГЭ), адаптируя их к конкретным задачам анализа ЭМП в реальных объектах. Разрабатываются адаптивные сетки, позволяющие повысить точность расчетов в областях с высокой концентрацией поля и снизить общие вычислительные затраты. Применяют методы декомпозиции области для параллельных вычислений.

2. Создание моделей, учитывающих неоднородность свойств материалов: создание моделей, позволяющих задавать переменные значения диэлектрической проницаемости, магнитной проницаемости и проводимости в расчетной области, а также учитывать их зависимость от частоты, температуры и других факторов. Необходимо разрабатывать модели, учитывающие анизотропию свойств материалов и применять методы гомогенизации для упрощения расчетов сложных композитных материалов.

3. Разработку нелинейных моделей: следует использовать нелинейные модели, учитывающие насыщение магнитной цепи, коронный разряд и другие нелинейные явления. Развиваются методы, позволяющие ускорить сходимость итерационных процессов при решении нелинейных задач, такие как метод Ньютона-Рафсона и его модификации.

4. Разработку моделей, учитывающих динамику поля: важно разрабатывать эффективные методы, позволяющие отслеживать изменение распределения ЭМП во времени, например, переходные процессы. Развиваются методы снижения вычислительной сложности при решении нестационарных задач, например, методы понижения порядка модели.

2.2. Использование методов машинного обучения

В последние годы методы машинного обучения (МО) стали активно применяться для решения задач, связанных с определением ЭМП реальных ЭТО. Это включает:

— разработку моделей, обучаемых на основе данных измерений; целесообразно использовать искусственные нейронные сети (ИНС), методы опорных векторов (SVM) и другие методы МО для построения моделей, связывающих измеренные значения ЭМП с параметрами источников поля. МО позволяет строить модели, устойчивые к шумам и погрешностям измерений и выявлять скрытые зависимости;

— использование МО для обработки результатов численного моделирования; использование МО для аппроксимации результатов численного моделирования и ускорения процесса расчета распределения ЭМП. МО может использоваться для создания метамоделей (суррогатных моделей), заменяющих трудоемкие численные расчеты;

— использование МО для идентификации источников ЭМП; применение МО для определения местоположения и характеристик источников ЭМП на основе измеренных значений поля. МО позволяет автоматизировать процесс идентификации источников ЭМП, снижая влияние человеческого фактора и повышая точность локализации. Используются методы кластеризации и классификации для выявления типов источников и их пространственного распределения.

2.3. Разработка и совершенствование методов измерения

Важным направлением является разработка и совершенствование методов измерения ЭМП, что включает:

— создание компактных и высокочувствительных датчиков: необходимо разрабатывать датчики, позволяющие проводить измерения в труднодоступных местах и с высокой точностью, используя современные микро- и нанотехнологии, а также новые материалы с улучшенными характеристиками. Миниатюризация датчиков позволяет уменьшить их влияние на измеряемое поле;

— использование мультисенсорных систем: применение мультисенсорных измерительных систем, объединяющих несколько датчиков различного типа и ориентации, для одновременного измерения различных параметров ЭМП (напряженности электрического и магнитного поля, плотности потока энергии, поляризации и др.) и получения более полной информации об его характеристиках. Это позволяет строить более точные и надежные модели;

— разработку методов компенсации помех: следует разрабатывать эффективные алгоритмы фильтрации и компенсации для удаления помех от внешних источников ЭМП и повышения точности измерений. Используются методы адаптивной фильтрации, позволяющие подстраиваться под изменяющиеся условия помеховой обстановки;

— применение методов дистанционного зондирования: необходимо использовать методы дистанционного зондирования, такие как радиометрия, для бесконтактного измерения ЭМП на больших расстояниях и в труднодоступных местах. Методы измерения ЭМП в ближней зоне высоковольтного оборудования продолжают развиваться, но методы дистанционного зондирования позволяют охватить большие площади и получать данные в режиме реального времени.

2.4. Использование методов оптимизации

Для решения обратных задач, связанных с определением источников ЭМП на основе измеренных значений поля, используются методы оптимизации, такие как генетические алгоритмы (ГА) [3], метод роя частиц (PSO), кратко рассмотренный в [4] и другие.

2.5. Создание информационных систем и баз данных

Для обеспечения доступа к информации об ЭТО, необходимой для определения ЭМП, необходимо создавать информационные системы и базы данных, содержащие геометрические модели, свой-

ства материалов, режимы работы оборудования, результаты предыдущих измерений и расчетов, а также информацию о примененных численных методах и алгоритмах. Информационные системы должны обеспечивать возможность обмена данными между различными организациями и исследователями, а также предоставлять инструменты для визуализации и анализа результатов.

2.6. Разработка стандартов и методик

Важным направлением является разработка стандартов и методик для определения ЭМП реальных ЭТО. Это позволит унифицировать подходы к решению данной задачи и обеспечить сопоставимость результатов, полученных разными исследователями и организациями. В [5] четко установлены требования к уровням электромагнитных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий. Разработка современных методик должна учитывать сложность реальных объектов, необходимость подтверждения результатов моделирования и измерений, а также требования к безопасности персонала и окружающей среды.

Определение ЭМП реальных электротехнических объектов требует комплексного подхода. Дальнейшее развитие рассмотренных направлений позволит создать эффективные системы определения ЭМП и обеспечить безопасную работу оборудования.

Список источников

1. *Клюшников О. И., Степанов А. В.* Теоретические основы электротехники: учебное пособие: в 5 ч. Ч. 5: Нелинейные электрические цепи. Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2012. 119 с.
2. *Татарникова А. Н., Парфенова Н. А.* Переходные процессы в электроэнергетических системах. Ч. 1: Электромагнитные переходные процессы: учеб. пособие. Рубцовск: Рубцовский индустриальный институт, 2016. 75 с.
3. *Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М.* Генетические алгоритмы / Под ред. В. М. Курейчика. 2-е изд., исправл. и доп. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. 368 с.
4. *Казакова Е. М.* Краткий обзор методов оптимизации на основе роя частиц // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2022 Т. 39, № 2. С. 150–174.
5. ГОСТ Р 51317.2.1-2000. Совместимость технических средств электромагнитная. Электромагнитная обстановка. Уровни электромагнитной совместимости для низкочастотных кондуктивных помех в системах электроснабжения промышленных предприятий. М.: Стандартинформ, 2020. 19 с.

УДК 621.311

Д. Ю. Лукьянов

студент кафедры электромеханики и робототехники

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Электроэнергетическая система является сложным электротехническим комплексом, включающим в себя производство, распределение и использование электрической энергии. Ее состояние в определенный момент времени называется режимом системы. Этот режим обуславливается некоторыми показателями, определяющими условия работы системы, которые еще называются параметрами режима. К таким параметрам относят: значения активной и реактивной мощности, напряжения, силы тока, частоты, угол сдвига фаз напряжений и ЭДС. Всего можно выделить три вида режима сети:

1. Установившийся режим – это режим, по которому проектируется электрическая сеть и ее характеристики.

2. Переходный режим – это переход системы из одного состояния в другое.

3. Послеаварийный режим – этот режим наступает после аварийного отключения одного или нескольких элементов сети, причем сеть работает с параметрами, отличными от номинального режима работы.

Также различают параметры сети и параметры режима. Их различие состоит в том, что параметры режима связаны зависимостями без коэффициентов, которые зависят от физических свойств элементов, от метода их соединений и других расчетных допущений. Например, такими коэффициентами могут быть: активное, реактивное и полное сопротивление, проводимость, коэффициенты трансформации или усиления. Параметры сети зависят от характера изменения ее режима, следовательно, являются нелинейными: напряжение сети, частота и т. п.

Создание новых видов электропередач базируется на комплексном применении высоковольтных компактных по своей конструкции линий повышенной пропускной способности с улучшенными технико-экономическими показателями и современных средств быстросействующего регулирования FACTS, обеспечивающих необходимые параметры управления режимов электропередач и энергосистем в целом, повышение их надежности, экономичности, бесперебойности энергоснабжения потребителей, энергетической и экологической безопасности.

В результате анализа научных исследований и разработок, выявлены значительные резервы для улучшения технических показателей электропередач переменного тока [1], а также новые возможности их применения:

- 1) увеличение пропускной способности;
- 2) обеспечение широкого диапазона регулирования основных режимных параметров и характеристик;
- 3) создание электропередач с заранее заданными технико-экономическими характеристиками и свойствами;
- 4) сокращение удельных капитальных вложений в расчете на единицу передаваемой мощности;
- 5) уменьшение общей площади земельных угодий, отчуждаемых под их строительство и компактизация конструкций линий электропередач;
- 6) снижение экологического воздействия ВЛ на окружающую среду.

Реализация каждой из этих новых возможностей электропередач переменного тока зависит от ряда фундаментальных факторов, влияющих на режимные параметры электроэнергетических систем.

Статическая устойчивость

Поскольку не существует режима сети, при котором отсутствуют какие-либо возмущения, следует учитывать, что отклонения параметров режима находятся около некоторого установившегося режима. Если система устойчива к таким малым возмущениям, то эта система устойчива, т.е. статическая

устойчивость – это способность системы возвращаться в исходное или близкое к нему состояние после малых возмущений (например, незначительных изменений нагрузки, генерации или параметров сети).

Если принять, что ЭДС электростанций, полное сопротивление всей энергосистемы и напряжения сети неизменны, то электрическая мощность будет зависеть от угла вылета ротора генератора δ между ЭДС и напряжением сети. Эта зависимость называется угловой характеристикой электропередачи и носит синусоидальный характер [2]. Максимальная мощность, которая может быть передана потребителю, называется пределом статической устойчивости. Это значение соответствует амплитуде угловой характеристики и можно выразить в виде:

$$P_{пр.ст.} = \frac{U_2 \times E}{X_{\Sigma}},$$

где E – ЭДС генераторов электростанции; U_2 – напряжение сети; X_{Σ} – суммарное сопротивление всей энергосистемы.

Статическая устойчивость энергосистемы определяется соотношением механической мощности, развиваемой турбинами электростанций, и электрической мощностью, отдаваемой электростанцией. При номинальном режиме работы и при установившемся режиме эти мощности равны. Мощность турбины не зависит от угла δ и определяется количеством энергоносителя, используемого для работы генераторов.

Есть несколько способов повысить статическую устойчивость: использование генераторов с устройствами автоматического регулирования тока возбуждения (АРВ) и использование определенных видов систем автоматического повторного включения (АПВ) [1].

Статическая устойчивость электроэнергетической системы зависит от множества факторов. Конфигурация и топология сети, включая количество и расположение генераторов, трансформаторов и линий электропередачи, играют важную роль, как и наличие резервных источников и связь между различными частями сети. Характеристики генераторов, такие как их мощность, инерционность и параметры регуляторов напряжения, также влияют на способность генераторов поддерживать заданное напряжение и частоту.

Тип и поведение потребителей, включая индуктивные, емкостные и резистивные нагрузки, а также изменения в потреблении электроэнергии, могут вызывать колебания в сети. Эффективность систем автоматического регулирования частоты и напряжения, а также способы управления нагрузкой и генерацией, включая использование резервов, значительно влияют на устойчивость системы. Электрические параметры линий, такие как сопротивление, индуктивность и емкость, оказывают влияние на распределение мощности и напряжения, а длина и характеристики линий могут вызывать потери и изменять реакцию системы на возмущения.

Уровень коэффициента мощности в системе также важен, так как он влияет на распределение реактивной мощности и напряжения. Техническое состояние и надежность оборудования, включая трансформаторы, выключатели и защитные устройства, имеют решающее значение, как и наличие и качество защитных систем, которые могут предотвратить или минимизировать последствия аварий. Метеорологические условия, такие как температура и влажность, а также географические и климатические факторы могут оказывать влияние на характеристики проводников и оборудования, что также сказывается на устойчивости системы. Наконец, связь и взаимодействие с соседними электроэнергетическими системами могут влиять на устойчивость через обмен мощностью. Все эти факторы в совокупности определяют, насколько эффективно электроэнергетическая система может справляться с возмущениями и сохранять свою работоспособность.

Основными проблемами при оценке статической устойчивости является недостаточное регулирование напряжения, перегрузка ЛЭП и низкий запас устойчивости при изменении топологии сети.

Динамическая устойчивость

В аварийных ситуациях, в результате которых происходит аварийное отключение элементов электрической сети, появляются большие возмущения и, как следствие, значительное отклонение параметров сети от установившихся. Если система обладает устойчивостью к таким изменениям и спо-

собна восстанавливать параметры сети на уровне, близком к номинальным, то система динамически устойчива [3].

Для оценки динамической устойчивости применяют метод площадей.

В целом устойчивость всей энергосети – это возможность возвращения в исходное состояние при возмущениях. Существуют следующие способы, повышающие устойчивость:

- повышение напряжения в линиях электропередач;
- применение современных быстродействующих выключателей, защит и автоматического повторного включения линий;
- увеличение ЭДС питающих генераторов;
- уменьшение индуктивного сопротивления линий электропередач;
- реновация оборудования;
- резервирование систем электроснабжения;
- увеличение резервов активной мощности;
- автоматическая частотная разгрузка;
- реструктуризация схемы электросети.

Динамическая устойчивость электроэнергетической системы определяется множеством факторов, которые влияют на ее способность сохранять стабильность и восстанавливаться после возмущений.

Первым ключевым аспектом являются характеристики генераторов. Генераторы с высокой инерционностью, обладающие большими маховыми массами, способны лучше справляться с резкими изменениями частоты и мощности, что способствует повышению устойчивости всей системы. Также важна работа автоматических регуляторов, таких как регуляторы частоты и напряжения, которые должны действовать быстро и точно для поддержания стабильного режима. Генераторы с высокой мощностью и хорошими динамическими характеристиками способны эффективно реагировать на изменения в системе.

Следующим фактором являются характеристики нагрузки. Разные типы нагрузок – индуктивные, емкостные и резистивные – по-разному реагируют на изменения в системе. Например, индуктивные нагрузки, такие как электродвигатели, могут вызывать колебания при резких изменениях. Кроме того, динамическое поведение нагрузок, особенно тех, которые быстро изменяются, может усугублять нестабильность системы.

Параметры сети электропередачи также играют важную роль. Сопротивление, индуктивность и емкость линий влияют на распределение мощности и скорость передачи сигналов. Длинные линии с высокой индуктивностью могут создавать задержки в реакции системы. Конфигурация сети, включая наличие резервных линий и кольцевых связей, может повысить устойчивость, позволяя перераспределять мощность в случае аварий.

Системы автоматического регулирования, такие как автоматическое регулирование частоты и напряжения, обеспечивают быстрое восстановление после возмущений и поддержание стабильного напряжения в узлах сети. Системы стабилизации, такие как PSS, помогают предотвратить колебания мощности генераторов.

Наличие резервных мощностей также критично. Быстрый ввод резервных генераторов или использование накопителей энергии позволяет восстановить баланс мощности в системе. Гибкость генерации, например, возможность быстро изменять мощность гидроэлектростанций или газовых турбин, также способствует устойчивости.

Защитные устройства, такие как релейная защита и автоматика, обеспечивают быстрое отключение поврежденных участков сети и восстановление нормального режима работы. Устройства FACTS, включая статические и синхронные компенсаторы, улучшают управление реактивной мощностью и стабилизируют напряжение.

Взаимодействие с соседними системами также важно. Обмен мощностью может как повысить устойчивость (за счет перераспределения мощности), так и создать риски, если соседняя система нестабильна. Синхронизация работы всех генераторов в системе является необходимым условием для поддержания устойчивости.

Внешние факторы, такие как метеорологические условия (штормы, обледенение, высокая температура), могут негативно влиять на оборудование и линии электропередачи. Географические и климатические особенности, например, в горных районах, могут создавать дополнительные сложности с передачей энергии.

Техническое состояние оборудования играет важную роль в устойчивости системы. Изношенные трансформаторы, выключатели или генераторы могут усугубить нестабильность. Качество защитных систем, включая наличие современных и надежных решений, минимизирует последствия аварий.

Наконец, управление режимами работы включает в себя оптимизацию распределения мощности между генераторами и нагрузками, что способствует более эффективному функционированию всей электроэнергетической системы [4].

Основными проблемами при оценке динамической устойчивости являются каскадные отключения из-за потери синхронизма, недостаточное быстродействие систем защиты и сложность учета всех нелинейных эффектов в моделировании.

Заключение

Анализ параметров статической и динамической устойчивости электроэнергетической системы требует учета множества факторов, включая характеристики генераторов, линии передачи, нагрузки и их взаимодействие в условиях различных возмущений. Регулярный мониторинг этих параметров, а также применение современных методов адекватного моделирования и анализа, критически важны для обеспечения надежности и целостности электрических сетей. Устойчивость электроэнергетической системы является важным условием для обеспечения ее эффективной работы, что напрямую влияет на качество обслуживания потребителей и безопасность всей энергетической инфраструктуры.

Перспективными направлениями для обеспечения устойчивости являются: гибридные системы (возобновляемые источники энергии и накопители) – для управления нестабильностью генерации; умные сети (Smart Grid) – адаптивное управление нагрузкой; искусственный интеллект и машинное обучение – прогнозирование аварий и оптимизация режимов.

Список источников

1. Кочкин В. И., Шакарян Ю. Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. 312 с. ил.
2. Хрущев Ю. В., Заподовников К. И., Юшков А. Ю. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2012. 160 с.
3. Электрические сети энергетических систем. Учебник / В. А. Боровиков и др. М.: Энергия, 2008. 392 с.
4. Моделирование режимов работы электроэнергетической системы с целью повышения ее устойчивости функционирования / В. Ф. Шишлаков и др. // Датчики и системы. 2019. № 4(235). С. 30–38. EDN XRRGSX.

УДК 621.31 (075.8)

Д. Ю. Лукьянов

студент кафедры электромеханики и робототехники

С. В. Солёный – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ:
КЛЮЧЕВЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

В условиях стремительного развития технологий и увеличения потребностей в электроэнергии обеспечение устойчивости электроэнергетической системы (ЭЭС) становится важной задачей. Для этого необходимо внедрять комплексные решения, направленные на автоматизацию процессов мониторинга и управления. Современные технологии позволяют отслеживать параметры электрических сетей, такие как напряжение, частота и качество энергии, в режиме реального времени, что дает возможность быстро реагировать на отклонения и предотвращать аварийные ситуации. Системы сбора и анализа данных помогают выявлять тенденции в работе энергосистемы и предсказывать возможные проблемы, способствуя более эффективному управлению.

Повышение надежности оборудования также играет ключевую роль. Регулярное техническое обслуживание и плановые ремонты являются необходимыми мерами для предотвращения выхода оборудования из строя. Современные системы релейной защиты и противоаварийной автоматики минимизируют последствия аварийных ситуаций, обеспечивая быструю реакцию на возникающие угрозы.

При проектировании новых объектов важно проводить детальные расчеты устойчивости и режимов работы, чтобы убедиться в их способности выдерживать пиковые нагрузки и аварийные ситуации. Учет степени надежности в технико-экономических расчетах при выборе структур управления и обосновании проектов позволяет создать более устойчивую энергосистему.

Интеграция современных технологий, таких как цифровизация и создание цифровых моделей, значительно улучшает управление и планирование. Разработка цифровых двойников энергосистем позволяет в реальном времени отслеживать их состояние и проводить симуляции различных режимов работы. Внедрение интеллектуальных систем, способных автоматически адаптироваться к изменяющимся условиям и предсказывать возможные неисправности, повышает эффективность работы ЭЭС.

Обучение и подготовка персонала также являются важным аспектом. Регулярные тренинги и повышение квалификации сотрудников позволяют им эффективно реагировать на нестандартные ситуации и использовать новые технологии, что в свою очередь повышает общую устойчивость системы.

Создание централизованных систем управления, объединяющих данные о производстве, транспортировке и потреблении электроэнергии, помогает улучшить координацию и повысить общую устойчивость системы. Интеграция всех уровней управления в единую информационную систему обеспечивает более эффективное взаимодействие и оперативное принятие решений.

Таким образом, внедрение автоматизированных систем мониторинга, повышение надежности оборудования, оптимизация проектирования и эксплуатации, интеграция современных технологий, обучение персонала и разработка централизованных систем управления являются ключевыми направлениями для повышения устойчивости электроэнергетической системы [1-4].

1. Математическое моделирование устойчивости ЭЭС

Устойчивость ЭЭС можно разделить на:

- **Статическую устойчивость** – способность системы возвращаться в исходное состояние после малых возмущений.

- **Динамическую устойчивость** – способность системы сохранять стабильность после крупных возмущений (например, коротких замыканий, отключений генераторов).

Модель статической устойчивости

Для анализа статической устойчивости часто используется модель синхронного генератора, описываемая уравнением "качелей":

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \frac{d\delta}{dt} = P_m - P_e,$$

где M – момент инерции генератора, D – коэффициент демпфирования, δ – угол ротора генератора, P_m – механическая мощность на валу генератора, P_e – электрическая мощность, отдаваемая генератором.

Устойчивость системы определяется корнями характеристического уравнения, полученного линеаризацией модели.

Модель динамической устойчивости

Для анализа динамической устойчивости используется система дифференциальных уравнений, описывающих поведение генераторов, нагрузки и сети:

$$\begin{aligned} \frac{d\delta_i}{dt} &= \omega_i - \omega_0 \\ M_i \frac{d\omega_i}{dt} &= P_{m,i} - P_{e,i} - D_i(\omega_i - \omega_0) \end{aligned}$$

где δ_i – угол ротора i -го генератора, ω_i – угловая скорость i -го генератора, ω_0 – синхронная скорость, $P_{m,i}$ и $P_{e,i}$ – механическая и электрическая мощности i -го генератора.

2. Оптимизация режимов работы ЭЭС

Для повышения устойчивости важно оптимизировать режимы работы системы. Это включает:

- Распределение активной и реактивной мощности.
- Минимизацию потерь в сети.

Оптимизационная задача

Целевая функция может быть выражена как минимизация потерь:

$$\min \sum_{i=1}^N P_{\text{потерь},i},$$

где $P_{\text{потерь},i}$ – потери в i -м элементе сети.

Ограничения включают:

- баланс мощности:

$$\sum P_{g,j} = \sum P_{n,j} + \sum P_{\text{потерь}}$$

где $P_{g,j}$ – мощность генераторов, $P_{n,j}$ – мощность нагрузки.

- ограничения на напряжения и углы:

$$\begin{aligned} U_{\min} &\leq U_i \leq U_{\max}, \\ \delta_{\min} &\leq \delta_i \leq \delta_{\max}. \end{aligned}$$

3. Использование устройств FACTS

Устройства FACTS (Flexible AC Transmission Systems) повышают устойчивость за счет управления параметрами сети (напряжение, фаза, сопротивление). Их моделирование включает:

- статические компенсаторы (SVC):

$$Q_{SVC} = V^2 / X_{SVC}.$$

где Q_{SVC} – реактивная мощность, V – напряжение, X_{SVC} – реактивное сопротивление;

- управляемые фазовращатели (PST):

$$\Delta\delta = kV_{PST},$$

где $\Delta\delta$ – изменение угла, k – коэффициент, V_{PST} – управляющее напряжение.

4. Анализ устойчивости с использованием критериев

Для оценки устойчивости используются критерии, такие как:

- **критерий Найквиста** – анализ устойчивости по частотным характеристикам;
- **критерий Гурвица** – проверка устойчивости по коэффициентам характеристического уравнения.

Итак, можно сформулировать рекомендации по повышению устойчивости следующим образом:



Заключение

Внедрение вышеуказанных мер позволит создать более устойчивую и надежную электроэнергетическую систему, способную справляться с вызовами современности и обеспечивать бесперебойное электроснабжение для всех пользователей. Эффективное управление и автоматизация процессов станут залогом стабильности и надежности энергоснабжения в будущем.

Интеграция современных технологий управления, автоматизации и децентрализованных систем генерации является одним из самых эффективных способов повышения устойчивости электрических сетей. Это позволяет не только улучшить надежность электроснабжения, но и адаптироваться к изменяющимся условиям, таким как увеличение доли возобновляемых источников энергии и изменение потребительских привычек.

Список источников

1. Федеральный закон № 35-ФЗ «Об электроэнергетике» от 26 марта 2003 года (с изменениями и дополнениями). URL: <https://fas.gov.ru/documents/576607?id=13788> (дата обращения: 15.01.2024).
2. ГОСТ Р 55062-2012. Электроэнергетика. Требования к устойчивости электроэнергетических систем. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200102958> (дата обращения: 17.01.2025).
3. *Иванов А. А., Петров В. В.* Устойчивость электроэнергетических систем: теория и практика. М.: Энергоиздат, 2018. 320 с.
4. *Сидоров С. С.* Интеллектуальные сети (Smart Grids): принципы и технологии. СПб.: Энергопресс, 2020. 256 с.

УДК 504.064.36

К. А. Лукьянов, А. А. Сиротенкостуденты кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета**М. П. Щербакова** – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель

БИОНИЧЕСКИЙ ЛЕТАЮЩИЙ РОБОТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАПОВЕДНИКА

В настоящее время широкое распространение получили летающие роботы, представляющие собой автономное или дистанционно управляемое устройство, способное перемещаться в воздушном пространстве без присутствия пилота на борту. Особенности летающих роботов позволяют им эффективно применяться в различных сферах, где необходимо контролировать ситуацию или вести наблюдение [1].

Бионический робот – устройство, внешне напоминающее живых существ, в конструкции которого применяются особенности движений, заимствованные у животных, птиц, рыб или насекомых. Использование формы и строения существ, созданных природой, дает возможность оптимизировать производство в различных сферах.

В качестве объекта мониторинга был выбран курский заповедник.

Центрально-Чернозёмный заповедник имени В. В. Алёхина [2] находится на юго-западе Среднерусской возвышенности в лесостепной зоне Курской области. Биоразнообразие заповедника включает в себя более 90% изученных организмов Курской области.

Создание бионического летающего робота для мониторинга курского заповедника решит такие проблемы, как:

1. Учет поголовья животных. Традиционно для выполнения этой цели зоологам приходится обходить всю территорию заповедника пешком, что занимает много времени и средств. Также для этой цели могут применяться вертолеты или небольшие самолеты, но данный способ не гарантирует точность подсчетов ввиду человеческого фактора. Записи с видеокамеры смогут дать более полное представление о численности видов.

2. Наблюдение за поведением и миграцией животных. Многие виды, услышав шум приближающегося вертолета или самолета, стремятся скорее скрыться из поля зрения. Мониторинг с помощью бесшумного робота-птицы даст возможность наблюдать за естественным поведением животных, в том числе для анализа состояния здоровья и возможных угроз.

3. Мониторинг экологических ситуаций. Для сохранения флоры и фауны в летний период необходимо проводить регулярный осмотр территории заповедника, необходимый для обнаружения и предотвращения распространения пожаров.

4. Защита от браконьеров. Дикие животные зачастую становятся жертвами охотников. Обзор границ даст возможность предотвратить незаконное проникновение на территорию охранной зоны.

На данный момент разработано несколько устройств, которые могут быть использованы для выполнения поставленной задачи. Рассмотрим некоторые из них.

1. Робот SmartBird компании Festo [3] создан по образцу и подобию серебристой чайки и летает исключительно благодаря взмахам крыльев (рис. 1). Сверхлегкий орнитоптер способен взлетать, летать и приземляться самостоятельно без какой-либо дополнительной тяги.



Рис. 1. Робот SmartBird

Робот был разработан для испытания технологии и исследования аэродинамики, приобрести его невозможно.

2. Робот Larus компании Drone Bird Institute [4] имитирует полет чайки и предназначен для мониторинга, картографирования и поисково-спасательных работ (рис. 2).



Рис. 2. Робот-чайка Larus

Дрона можно заказать, однако цена приобретения будет около 1 млн рублей.

Можно сделать вывод, что в настоящее время еще не разработали доступное и недорогое устройство, способное выполнять поставленную задачу.

В рассматриваемой работе предлагается разработать робота-птицу, который сможет обеспечить качественный мониторинг заповедника и будет иметь небольшую стоимость.

Общий вид робота представлен на рис. 3.

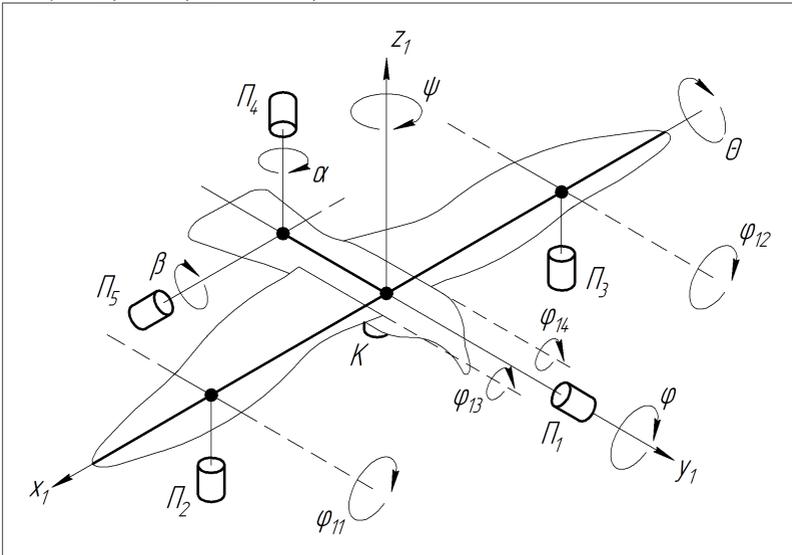


Рис. 3. Схема устройства

Робот будет перемещаться в пространстве благодаря поворотам отдельных своих компонентов [5]. Углы φ_{13} и φ_{14} характеризуют вращение шарниров, обеспечивающих взмах крыльев. Элероны, необходимые для контроля движения потока воздуха, который будет обеспечивать дополнительную подъемную тягу, поворачиваются на углы φ_{11} и φ_{12} .

Хвост птицы также будет совершать движения, это необходимо для поворота и стабилизации во время полета. Во время поворота хвоста по горизонтальной оси (угол α) будет совершаться рыскание, то есть изменение курса движения, при движении вверх или вниз (угол β) – тангаж – изменение угла атаки. Крен будет обеспечиваться движением элеронов.

Таким образом, робот будет иметь пять приводов: механизм крыльев (Π_1), который обеспечивает движение в целом, сервоприводы элеронов (по одному на каждом крыле, Π_2 и Π_3), сервоприводы горизонтального и вертикального смещений хвоста (Π_4 и Π_5).

Для контроля положения устройства в пространстве будет использоваться система GPS – навигации. Еще один датчик – гироскоп, будет предназначен для слежения за углами ориентации робота.

Для съемки территории заповедника во время полета на корпус установлена камера видеонаблюдения с термодатчиком (К на рис. 3). Данные записи, которые будут сохраняться на флеш – накопителе, после возвращения птицы могут быть просмотрены зоологами.

Управление движением робота осуществляется посредством многоканальной схемы системы автоматического управления [6] (рис. 4).

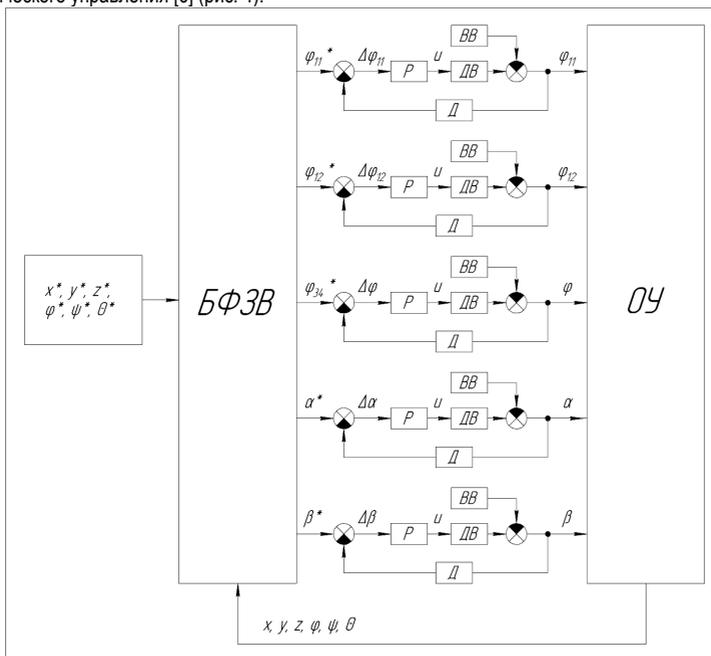


Рис. 4. Схема многоканальной САУ: $x^*... \theta^*$ – желаемые координаты и углы положения; $\phi_{11}^*... \beta^*$ – желаемые углы поворота элеронов (ϕ_{11}^* и ϕ_{12}^*), крыльев ($\phi_{34}^* = \phi_{13}^* = \phi_{14}^*$) и хвоста (α^* и β^*); $\phi_{11}... \beta$ – реальные углы поворота звеньев; $x... \theta$ – реальные координаты и углы положения; БФЗВ – блок формирования задающих воздействий; ОУ – объект управления (робот)

Система работает следующим образом: на вход подаются желаемые координаты и углы положения робота в пространстве. Затем данные передаются в блок формирования задающих воздействий, включающим в себя блок формирования необходимых управляющих напряжений (БФВВ), которые через регулятор подаются на приводы робота, и блок преобразования обобщенных координат, в котором из желаемых координат положения рассчитываются необходимые углы поворота каждого звена.

Обратной связью в данной системе являются датчики Холла угла поворота, сигналы с которых подаются на компараторы, где происходит сравнение значений и вычисляется ошибка. После чего сигналы идут на регуляторы, которые корректируют подаваемые напряжения на двигатели.

Список источников

1. *Бойко Б.* Вдохновленные природой: бионические роботы. URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2015/11/13047401?ysclid=m651om0с6q199849584> (дата обращения: 20.10.2024).
2. ФБГУ «Центрально-Чернозёмный государственный природный биосферный заповедник имени профессора В. В. Алёхина». URL: <http://zapoved-kursk.ru> (дата обращения: 20.10.2024).
3. Корпорация Festo. URL: <https://www.festo.com> (дата обращения: 28.10.2024).
4. Компания Drone Bird Institutenweg. URL: <https://www.thedronebird.com> (дата обращения: 28.10.2024).
5. *Яцун С. Ф.* Конструкция и система управления робота-орнитоптера, оснащенного крыльями и хвостом // Известия Юго-Западного государственного университета. 2018. № 2. С. 18–26.
6. *Коновалов Б. И.* Теория автоматического управления. Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. 163 с.

УДК 347.463

К. А. Лукьянов, А. А. Сиротенко

студенты кафедры механики, мехатроники и робототехники Юго-Западного государственного университета

М. П. Щербакова – преподаватель Юго-Западного государственного университета – научный руководитель

ГРУЗОВОЙ БЕСПИЛОТНЫЙ КОНВЕРТОПЛАН

В настоящее время широкое распространение получили летающие роботы, представляющие собой автономное или дистанционно управляемое устройство, способное перемещаться в воздушном пространстве без присутствия пилота на борту. Особенности летающих роботов позволяют им эффективно применяться в различных сферах, где необходимо контролировать ситуацию или вести наблюдение [1].

Конвертоплан – винтокрылый летательный аппарат с поворотными двигателями (как, правило, винтовыми), которые на взлете и при посадке работают как несущие винты, а в горизонтальном полете – как тянущие или толкающие [2].

Беспилотные летательные аппараты в МЧС выполняют спасательные, разведывательные задачи, а также задачи мониторинга в более чем 10 различных областях спасательных работ. На вооружении службы имеются аппараты самолетного, вертолетного типа. Но используются они в основном для мониторинга территории и в редких случаях для тушения пожаров.

Создание грузового БПЛА вертикального взлета позволит совместить мониторинговые возможности с иными потребностями МЧС, такими как:

1. Обнаружение пострадавших на большой территории и доставка к ним средств первой помощи.
2. Поиск источников возгорания с возможностью их последующей ликвидации используя навесное оборудование весом до 30 кг.

На данный момент разработано несколько устройств, которые выполняют схожую задачу. Рассмотрим некоторые из них.

1. Аппарат Д-20К компании Аэромакс (Россия) [3], позиционируемый компанией как гражданский, совмещает взлет и посадку по вертолетному, далее аппарат действует в самолетном режиме (рис. 1).

Энергетическая установка Д-20К основана на ДВС. Д-20К – модификация Д-20, беспилотника самолетного типа, до конвертоплана. Вертикальный взлет и посадка обеспечивают 4 электрических двигателя. ДВС с толкающим воздушным винтом обеспечивает движение в самолетном режиме.



Рис. 1. Д-20К

2. Конвертоплан V-247 Vigilant компании Bell [4] был создан для удовлетворения растущих потребностей армии США в БПЛА, независимых от взлетно-посадочной полосы, для оказания постоянной поддержки наземным войскам, требуя при этом меньше места для хранения и транспортировки (рис. 2).



Рис. 2. Bell V-247 Vigilant

Можно сделать вывод, что в настоящее время еще не разработали доступное устройство, способное выполнять поставленную задачу.

В рассматриваемой работе предлагается разработать беспилотный конвертоплан грузоподъемность не более 30 кг, который позволит обнаружить пострадавших на большой территории и доставить к ним средства первой помощи.

Общий вид робота представлен на рис. 3 [5]. В роботе будет установлено четыре привода, по одному на каждый из винтов. Перемещение робота в пространстве будет обеспечиваться изменением скорости вращения винтов. Для перемещения в вертикальной плоскости изменяется скорость вращения пропеллера 1 (П1) и пропеллера 2 (П2). Поворот будет осуществляться изменением скорости вращения П3 и П4.

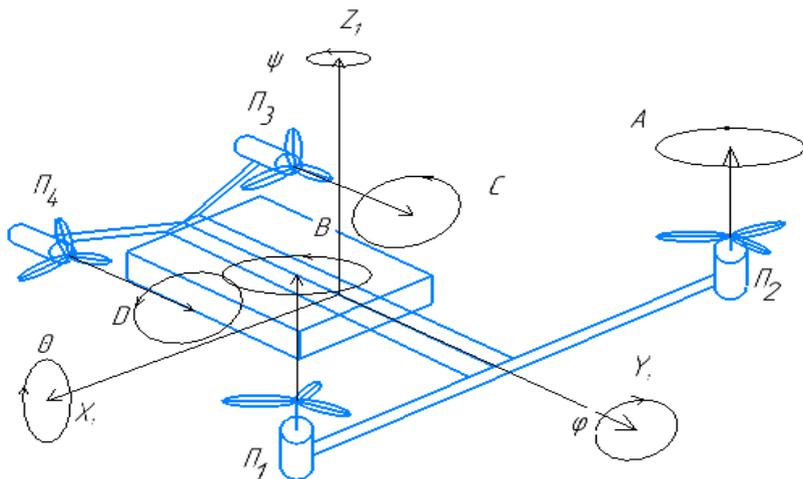


Рис. 3. Схема устройства

Для контроля положения устройства в пространстве будет использоваться система GPS-навигации. Еще один датчик – гироскоп – будет предназначен для слежения за углами ориентации робота.

Траектория движения робота показана на рис. 4.

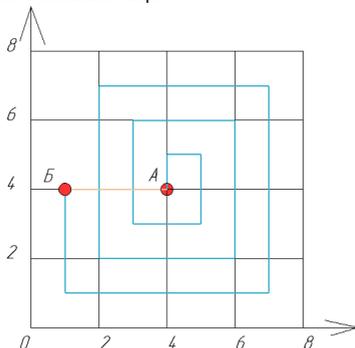


Рис. 4. Траектория движения: точка А – начальная, точка Б – конечная

Конвертоплан после взлета должен выйти на траекторию и при обнаружении цели сместиться к ней. После доставки груза к цели должен вернуться на траекторию или вернуться к оператору.

При уровне заряда менее 25% робот должен по кратчайшей траектории вернуться к оператору для подзарядки. За весь заряд аккумулятора дрон должен пролететь расстояние около 54 км.

Управление движением робота осуществляется посредством многоканальной схемы системы автоматического управления [6] (рис. 5).

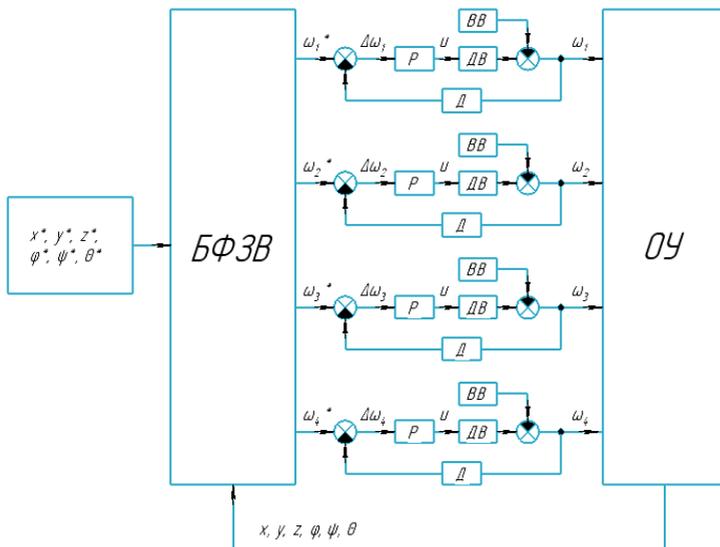


Рис. 5. Схема многоканальной САУ: $x^*...θ^*$ – желаемые координаты и углы положения; $ω1^*...ω4^*$ – желаемые угловые скорости винтов; $ω1...ω4$ – реальные угловые скорости винтов; $x...θ$ – реальные координаты и углы положения; БФЗВ – блок формирования задающих воздействий; ОУ – объект управления (робот)

Система автоматического управления работает следующим образом: на вход подаются желаемые координаты и углы положения робота в пространстве. Затем данные передаются в блок формирования задающих воздействий, включающим в себя блок формирования необходимых управляющих напряжений (БФВВ), которые через регулятор подаются на приводы робота, и блок преобразования обобщенных координат, в котором из желаемых координат положения рассчитываются необходимые угловые скорости винтов.

Обратной связью в данной системе являются акселерометры, сигналы с которых подаются на компараторы, где происходит сравнение значений и вычисляется ошибка. После чего сигналы идут на регуляторы, которые корректируют подаваемые напряжения на двигатели.

Список источников

1. *Бойко Б.* Вдохновленные природой: бионические роботы. URL: <https://www.osp.ru/pcworld/2015/11/13047401?ysclid=m651om0с6q199849584> (дата обращения: 20.10.2024).
2. Конвертоплан. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Конвертоплан> (дата обращения: 20.09.2024).
3. Завершены летные испытания конвертоплана Д-20К компании Аэромакс. URL: <https://robotrends.ru/pub/2239/zaversheny-letnye-ispytaniya-konvertoplana-d-20k-kompanii-aeromaks> (дата обращения: 20.10.2024).
4. Bell V-247 Vigilant. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Bell_V-247_Vigilant (дата обращения: 20.10.2024).
5. *Набиев Р. Н.* Конструктивное оформление беспилотного летательного аппарата конвертопланового типа // *Авиакосмическое приборостроение*. 2022. № 6. С. 3–13.
6. *Коновалов Б. И.* Теория автоматического управления. Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2010. 163 с.

УДК 621.311.1

В. В. Мазунин

студент кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ****Введение**

Система электроснабжения является ключевым элементом инфраструктуры любого промышленного предприятия. Она обеспечивает надежное и бесперебойное питание всех производственных процессов, влияет на эффективность работы оборудования и безопасность персонала. Разработка такой системы требует тщательного планирования и учета различных факторов. В этой статье рассмотрены основные аспекты разработки системы электроснабжения промышленного предприятия.

Актуальность темы

В Российской Федерации имеется потенциал энергосбережения, достигающий третьей части текущего энергопотребления, и существуют возможности значительного повышения экономической эффективности энергетических проектов.

В то же время энергетика России сталкивается со сложным комплексом внутренних проблем и нестандартных внешних вызовов. Среди основных трудностей и ограничений развития энергетического сектора следует выделить следующие:

- низкая конкурентоспособность и экспортно-сырьевая модель развития российской экономики, вследствие чего ТЭК подвергается повышенной налоговой и таможенно-тарифной нагрузке;
- низкие темпы экономического роста, существенно замедляющие рост внутреннего спроса на топливо и энергию и снижающие инвестиционную активность в ТЭК;
- ухудшение ресурсной базы топливных отраслей по мере истощения действующих месторождений, сокращение размеров и ухудшение качества открываемых месторождений, что увеличивает капиталоемкость освоения сложных и удаленных провинций;
- технологическое отставание некоторых сегментов российского ТЭК от передового уровня и чрезмерная зависимость от импорта некоторых видов оборудования, материалов и услуг;
- низкие темпы обновления инфраструктуры и производственных фондов;
- высокая зависимость от внешнеэкономической конъюнктуры;
- ограниченные возможности привлечения доступных долгосрочных финансовых ресурсов.

Стоящие перед отраслью задачи включают в себя:

1. Вывод из эксплуатации экономически неэффективного, физически и морально устаревшего энергетического оборудования с введением необходимого объема новых мощностей преимущественно на базе использования отечественных технологий и оборудования, с сохранением приоритета выработки электрической и тепловой энергии в комбинированном режиме.

2. Развитие Единой энергетической системы с дальнейшим присоединением к ней изолированных энергосистем (с учетом технико-экономических последствий) при обеспечении эффективной надежности электроснабжения.

3. Модернизация сетей, внедрение интеллектуальных систем анализа и контроля электроэнергетики, развитие технологий «умных сетей».

4. Оптимизация структуры и загрузки электро- и теплогенерирующих мощностей по типам генерации (с учетом маневренности оборудования) и видам используемых энергоресурсов как основы совершенствования структуры топливно-энергетического баланса страны и регионов, в том числе в изолированных от ЕЭС энергетических районах.

5. Слияние электроэнергетики в Едином экономическом пространстве Евразийского экономического союза и рост экспорта электрической энергии и мощности, прежде всего в восточной части страны [1].

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

В табл. 1 приведен прогноз производства электрической энергии согласно энергетической стратегии России до 2035 года.

Таблица 1

Прогноз производства электрической энергии

	Период				
	2015	2020	2025	2030	2035
Производство электрической энергии, всего, млрд. кВт-ч	1064	1116	1230	1340	1470
В том числе:	1064	1107	1190	1286	1380
- гидроэлектростанции	170	199	204	215	230
	170	193	195	199	201
- атомная электростанции	195	221	227	238	269
	195	215	223	224	246
- тепловы электростанции (включая децентрализованные)	697	688	779	856	925
	697	684	757	841	904
- нетрадиционные возобновляемые источники энергии	2	12	21	51	46
	2	11	16	22	29

Основные этапы разработки системы электроснабжения

1. Анализ электропотребления и технических требований.

Первым шагом в разработке системы электроснабжения является анализ потребностей и технических требований предприятия. Основные параметры приведены на рис. 1.



Рис. 1. Исходные данные при построении электросистемы

Далее на основе полученной информации составляется предварительный проект электроснабжения предприятия. В качестве источников информации потребления электроэнергии можно использовать данные о потреблении энергии за прошлый год, необходимые планы расширения производства, предварительные данные о расчетной электрической нагрузке [2].

2. Выбор источника питания.

Следующий шаг – выбор источника питания. Он может зависеть от специфики предприятия и быть одним из представленных на рис. 2.

При решении данного вопроса стоит учитывать надежность и стоимость источника энергии, его экологичность и соответствие потребностям предприятия. Для всех объектов с требованиями к недоступности перерывов в режимах работы лучше всего подходят варианты с резервными источниками питания [3].

Также учитывать территориальное расположение предприятия, в какой зоне и в каких условиях ему необходимо работать, так как если объект работает в зоне с проблемным электричеством, собственная генерационная станция может стать более оптимальным решением.

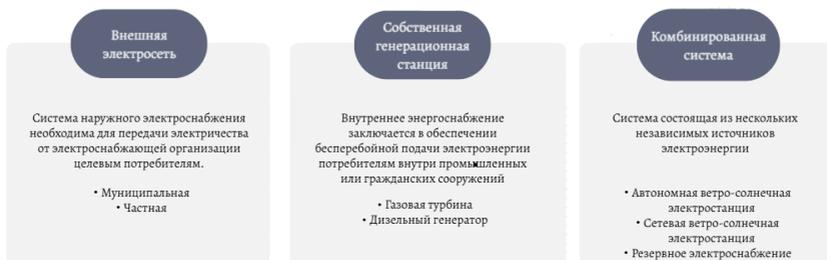


Рис. 2. Виды источников питания электрической системы

3. Проектирование энергосистемы.

Энергосистема – это технический объект, включающий совокупность электростанций, приемников электрической энергии и электрических сетей, соединенных между собой и связанных общностью режима [4]. При проектировании энергосистемы необходимо учитывать особенности выбора оборудования и величину возможных потерь (рис. 3).



Рис. 3. Факторы, учитываемые при проектировании электрической системы

Не менее важно обеспечить равномерное распределение нагрузки между потребителями и уменьшение потерь электроэнергии [5]. Для этого можно использовать специализированное программное обеспечение для создания модели энергосистемы, анализирующее параметры распределительных сетей.

При проектировании распределительной сети также необходимо учесть возможность расширения сети в будущем, чтобы избежать необходимости полной перестройки сети при увеличении потребления электроэнергии. Расширение сети в будущем достаточно важный параметр, потому что в современном мире потребление электроэнергии стремительно увеличивается, следовательно, требования для энергосистем постоянно повышаются, в связи с этим необходимо оставлять запас мощности для модернизации системы.

4. Расчет и выбор оборудования

Для обеспечения надежной работы системы электроснабжения необходимо качественно рассчитать и подобрать оборудование, потому что данный выбор может повлечь за собой неожиданные проблемы на этапе запуска и наладки энергосистемы.

На этапе выбора оборудования следует учитывать его технические параметры, надежность, стоимость, соответствие требованиям предприятия, а также возможности для увеличения нагрузки [6]. Например, для предприятий с высокими требованиями к надежности можно выбрать оборудование с повышенной стойкостью к перегрузкам и коротким замыканиям, при этом необходимо подобрать оборудование, которое по своим технико-экономическим параметрам устроит заказчика.

Также важно учесть эксплуатационные условия оборудования – температура эксплуатации, влажность и наличие агрессивных сред. Это позволит выбрать оборудование, которое будет надежно работать в конкретных условиях.

5. Обеспечение безопасности и надежности

Безопасность и надежность являются ключевыми факторами при разработке системы электроснабжения. Основные факторы, влияющие на надежность эксплуатации систем электроснабжения, приведены на рис. 4.



Рис. 4. Параметры надежности электросистемы

Также важно обеспечить соответствие системы электроснабжения всем нормативным требованиям и стандартам таким, как Правила устройства электроустановок (ПУЭ) и ГОСТы. Необходимо провести аудит системы на соответствие требованиям безопасности, выполнить все необходимые расчеты и испытания, а также разработать инструкции по эксплуатации и обслуживанию системы [7]. Для разработки порядка обслуживания системы необходим опыт, потому что сложности в обслуживании системы могут привести к непредвиденным обстоятельствам таким, как нанесение вреда здоровью работника, образование дефекта оборудования, который может изменить параметры работы сети, длительное отключение сети для обслуживания участка.

6. Оптимизация и модернизация

После ввода системы электроснабжения в эксплуатацию необходимо проводить ее регулярный мониторинг и анализ, что позволит выявить возможные проблемы и оптимизировать работу системы. Модернизация системы может включать в себя замену устаревшего оборудования, внедрение новых технологий и оптимизацию распределительной сети.

Для оптимизации системы можно использовать методы математического моделирования и компьютерного анализа, которые позволяют определить наиболее эффективные решения модернизации. Также важно учитывать опыт эксплуатации системы и отзывы персонала, чтобы выявить возникшие проблемы и улучшить работу системы, а также минимизировать возможность возникновения человеческого фактора, другими словами, проанализировать на каком участке и в каком процессе системы чаще всего обнаруживаются неисправности, связанные с работой сотрудника.

Регулярное обслуживание, профилактика и мониторинг оборудования помогут избежать аварийных ситуаций и увеличить временной промежуток эксплуатации системы. Кроме того, оптимизация системы может привести к снижению затрат на электроэнергию, росту эффективности производства, минимизации неисправностей и доступности в обслуживании.

Главные тенденции, влияющие на долгосрочное прогрессирование энергетики, развиваются по четырем ключевым направлениям: 1) энергобезопасность, 2) рост рыночной конкуренции, 3) появление новых технологий, 4) международные стандарты.

Формирование энергетики будущего основывается на развитии возобновляемых источников электроэнергии, «умной» сетевой инфраструктуры и систем хранения энергии, которые, основываясь на другие технологические решения, направленные на изменения базовых параметров функционирования энергосистемы, создадут ее новую архитектуру [8].

Заключение

Алгоритм разработки электроснабжения промышленного предприятия – сложный и ответственный процесс. Возможность успешного завершения и выполнения задачи электроснабжения, ее реализация, требует анализа фундаментальных факторов таких, как потребности предприятия, выбор источ-

ника питания, проектирование распределительной сети, расчет оборудования, необходимого для безопасности и надежности питания, модернизация, оптимизация всей системы. Корректно разработанная система обеспечит надежное и эффективное питание всех процессов на предприятии, что в свою очередь улучшит производительность и конкурентоспособность предприятия. Сфера электроэнергетики активно развивается, появляются новые решения для расширения и модернизации систем и ранее неизвестные виды извлечения энергии. Россия предсказывает возможные будущие проблемы в данной сфере, поэтому ставит амбициозные цели по улучшению и модернизации электроснабжения, которые описаны в энергетической стратегии страны на период до 2035 года.

Список источников

1. Распоряжение Правительства РФ от 09.06.2020 N 1523-р «Об утверждении Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года» // «Собрание законодательства РФ», 2020. 3847 с.
2. Правила устройства электроустановок: 7-е изд. (ПУЭ). М.: ЗАО «Энергосервис», 2007. 610 с.
3. ГОСТ 30331.1-2013 «Межгосударственный стандарт. Требования к электрооборудованию и свободным токам». М.: Стандартинформ, 2013. 45 с.
4. Методические указания по устойчивости энергосистем. М.: НЦ ЭНАС, 2004. 16 с.
5. Ус А. Г., Евминов Л. И. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий: учеб. пособие. Минск: ПИОН, 2002. 455 с.
6. Шишлаков, В. Ф., Солёная О. Я., Солёный С. В. Основы электроснабжения объектов отрасли: учеб. пособие. СПб.: ГУАП, 2017. 85 с.
7. ГОСТ Р 50571.1-2009 «Межгосударственный стандарт. Наладка и испытания электрооборудования станций и подстанций». М.: Стандартинформ, 2009. 37 с.
8. Калимуллин Л. В. Основные тенденции и сценарии развития мировой энергетики. Казань: ТИСБИ, 2019. 17 с.

УДК 640.41

Д. Д. Макаренко

студент кафедры информационных систем и технологий

С. Б. Рудницкий – доктор технических наук, профессор – научный руководитель**ОТ РУТИНЫ К ИННОВАЦИЯМ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАЦИИ КОДА И ИХ БУДУЩЕЕ****Введение**

Современные технологии искусственного интеллекта (ИИ) стремительно меняют индустрию разработки программного обеспечения. AI-кодогенерация уже значительно сокращает время написания шаблонного кода, автоматизирует рутинные процессы и минимизирует ошибки [1]. Однако даже самые продвинутые инструменты не устраняют фундаментальных сложностей проектирования систем. AI становится незаменимым помощником в разработке – он ускоряет процессы и снижает нагрузку на выполнение рутинных задач. В этом докладе рассматриваются современные тенденции AI в кодогенерации, влияние на рынок труда и прогнозы на будущее.

Современные тенденции AI-кодогенерации

Развитие AI в программировании идет в нескольких направлениях. Одним из ключевых достижений стало автодополнение кода, реализованное в таких инструментах как GitHub Copilot [2]. Нейросети предсказывают большинство строк кода в рутинных задачах, экономя разработчикам часы работы [3]. AI активно используется для генерации стандартных алгоритмов, таких как сортировки и обработка данных, но пока требует обязательной валидации человеком, поскольку все еще допускает неточности в работе [4, 5].

Кроме того, AI ускоряет автоматизацию тестирования: современные ML-инструменты способны генерировать unit-тесты, снижая нагрузку на QA-инженеров [5]. Важным направлением стало улучшение рефакторинга: AI анализирует код и предлагает оптимизации [6]. Тем не менее, исследования McKinsey показывают, что AI пока остается слабым в задачах, требующих креативности, таких как проектирование архитектуры микросервисов или оптимизация высоконагруженных систем [7].

Влияние AI на рынок труда разработчиков

AI меняет требования к разработчикам. Порог входа в профессию растет: теперь недостаточно просто знать синтаксис языка – нужно уметь взаимодействовать с AI-инструментами и понимать алгоритмическое мышление [3]. Это ведет к смене приоритетов: к 2025 году большая часть времени разработчиков будет посвящено задачам, требующим нестандартного подхода к решению, поскольку реализацию шаблонных решений будет в состоянии значительно ускорить AI [7].

Старшие специалисты останутся востребованными. AI не способен придумывать новые архитектурные решения, мыслить нешаблонно и масштабно, а значит, проектирование сложных систем по-прежнему будет производиться человеком [5]. Вместе с тем, автоматизация рутинных задач позволит разработчикам сосредоточиться на более сложных аспектах, таких как улучшение качества кода и внедрение архитектурных паттернов [4, 6].

Сферы быстрого и медленного внедрения AI

AI способен сильно ускорить разработку, а значит, и снизить ее конечную стоимость. Это означает что внедрение AI во большинство сфер разработки – вопрос времени. Однако, в разных направлениях темпы интеграции AI-инструментов разработки могут сильно различаться.

Быстрее всего AI внедряется в сферы, где важна скорость разработки, но не критичны ошибки. Веб-разработка уже активно использует AI для генерации UI-компонентов и API [1, 2]. В корпоративных системах AI внедряется в low-code платформы, позволяя бизнесу автоматизировать процессы без участия программистов [7]. В геймдеве AI помогает анализировать игровые механики и балансировать сложность уровней.

Однако есть сферы, где AI пока не способен заменить специалистов. В embedded-разработке и критически важных системах (авиация, медицина) требования к безопасности и оптимизации, а также последствия сбоев, вызванных проблемами в коде, не позволяют задействовать AI на его нынешней стадии развития [5]. Так же AI неспособен создавать нестандартные алгоритмы наравне с опытными

специалистами, поскольку обучался в основном на шаблонных решениях [4]. Это означает, что в некоторых направлениях разработки еще очень долгое время использование AI кодогенерации будет или сведено к минимуму, или исключено вовсе.

Стоит так же отметить, что внедрение AI будет идти разными темпами в разных странах. В странах с гибким регулированием, таких как США, технологии будут распространяться быстрее, в то время как бюрократические системы, например, в ЕС, сохраняют более консервативный подход [7]. Однако общий вектор развития очевиден: автоматизация кодогенерации – неизбежный этап эволюции индустрии.

Будущее AI в разработке

Развитие AI в программировании приведет к стандартизации процессов и изменению ролей разработчиков. Спрос на написание шаблонного кода человеком будет падать, а на специалистов, способных адаптировать и обучать AI, реализовывать задачи, которые AI решать неспособен – сохранится или даже возрастет [1]. В будущем программисты станут архитекторами решений, адаптирующими AI-предложения под реальные задачи бизнеса [7].

Заключение

Будущее технологий кодогенерации – это не просто автоматизация рутины, а эволюция роли разработчиков и программирования в целом. В ближайшие годы AI станет стандартным инструментом, который возьмет на себя все больше шаблонных задач, ускорит процесс написания кода и оптимизирует рабочие процессы. AI не заменит разработчиков полностью, но изменит спектр задач, которые они будут решать. Можно жидать, что со временем опытные специалисты будут востребованы как архитекторы и стратеги, направляющие работу AI и принимающие решения, требующие гибкости и нестандартного мышления. К такого рода задачам, например, можно отнести планирование архитектуры проекта и ее изменение в ходе разработки. На смену традиционному программированию постепенно придет симбиоз человека и AI, где основным навыком станет не только написание кода, но и эффективное использование возможностей нейросетей.

Список источников

1. *Peng S. et al.* The Impact of AI on Developer Productivity: Evidence from GitHub Copilot. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2302.06590> (дата обращения: 15.09.2023); *Feldt R. et al.* Machine Learning for Software Engineering: A Systematic Mapping // *Journal of Systems and Software*. 2023. Vol. 195. 111542.
2. Второй пилот: ваш парный программист на основе ИИ. URL: <https://github.com/features/copilot> (дата обращения: 04.03.2024).
3. *Ziegler A. et al.* Productivity Assessment of Neural Code Completion // *ACM SIGPLAN*. 2022. Vol. 57, № 4. P. 1–22.
4. *Chen M. et al.* Evaluating Large Language Models Trained on Code // *ariv:2107.03374*. 2021. 35 p. URL: <https://arxiv.org/abs/2107.03374> (дата обращения: 10.01.2025).
5. *Amershi S. et al.* Software Engineering for Machine Learning: A Case Study // *ICSE-SEIP*. 2019. P. 291–300.
6. *Фаулер М.* Рефакторинг. Улучшение существующего кода / пер. с англ. 2-е изд. М.: Символ-Плюс, 2019. 432 с.
7. McKinsey Global Institute. What is the future of work? URL: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-the-future-of-work> (дата обращения: 10.01.2025).
8. *Брукс Ф.* Мифический человеко-месяц. СПб.: Символ-Плюс, 2021. 304 с.

УДК 621.316

А. А. Макаров, С. А. Ильичев

ученики 10-го класса лицея № 384

А. Н. Филиппова – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

МОДЕЛЬ УМНОГО ДОМА НА ОТЛАДОЧНОЙ ПЛАТЕ ARDUINO

Введение

Современные технологии с каждым годом развиваются стремительно, и концепция "умного дома" становится все более популярной среди людей различных групп. Для одних такие системы – это устройства для повышения комфорта, безопасности и энергоэффективности, для других – простота использования и возможность управлять домашними устройствами с помощью смартфона. Системы умного дома пользуются популярностью и оказывают влияние на повседневную жизнь людей и рынок жилья.

В данной статье рассматривается разработка модели умного дома на базе микроконтроллера Arduino. Такая модель позволяет реализовать базовые функции автоматизации и наглядно продемонстрировать некоторые возможности системы умного дома.

Основные компоненты системы

Для создания модели умного дома на базе Arduino используются следующие компоненты:

1. Микроконтроллер Arduino. Является центральным элементом системы, управляющий работой всех компонентов. Он обрабатывает данные, полученные от датчиков, и передает управляющие сигналы исполнительным устройствам.

2. Датчики:

- освещенности – определяют уровень освещения в помещении и позволяют автоматически включать или выключать свет;
- температуры и влажности – контролируют микроклимат и передают данные в систему управления;

- движения (инфракрасный датчик) – фиксирует движение человека и может использоваться для автоматического включения света, сигнализации и других функций;

- газа – обнаруживает утечки бытового газа (метан, пропан, бутан) и задымление;

- открытия дверей и окон – контролирует состояние дверей и окон, повышая уровень безопасности;

- ультразвуковой датчик расстояния – измеряет расстояние до объектов, что может применяться, например, для автоматического открытия дверей или контроля уровня жидкости.

3. Исполнительные устройства:

- реле – позволяет включать и отключать бытовые приборы, такие как лампы, вентиляторы и обогреватели;

- серводвигатели – используются для управления механическими элементами, такими как жалюзи, двери или поворотные камеры видеонаблюдения.

4. Средства связи и управления:

- Wi-Fi модуль – обеспечивает удаленное управление системой через интернет или локальную сеть, а также передачу данных на облачные сервисы;

- Bluetooth-модуль – позволяет управлять устройствами умного дома через Bluetooth-соединение с мобильным телефоном;

- ЖК-дисплей или OLED-дисплей – отображает текущие параметры системы, такие как температура, влажность и уровень газа [1].

Принцип работы системы

Функционирование система умного дома на базе Arduino функционирует следующим образом:

- датчики собирают информацию о параметрах окружающей среды (температура, влажность, освещенность и др.);
- полученные данные передаются в микроконтроллер, который анализирует их и принимает решения;
- при необходимости включаются исполнительные устройства, такие как лампы, кондиционеры, обогреватели или жалюзи.

Пользователь может управлять системой через мобильное приложение, веб-интерфейс или голосовые команды.

Преимущества и перспективы системы

Применение Arduino для реализации системы умного дома обладает рядом значительных преимуществ:

- гибкость и масштабируемость – к платформе можно подключать дополнительные модули и устройства без необходимости замены основного оборудования;
- простота освоения – программирование и настройка Arduino интуитивно понятны, что делает систему доступной даже для пользователей без глубоких технических знаний;
- широкий выбор оборудования – существует множество совместимых датчиков и модулей, позволяющих адаптировать систему под конкретные потребности;
- низкая стоимость – компоненты системы относительно недороги, что делает технологию доступной для широкого круга пользователей;
- защита данных – информация с датчиков может храниться на локальном контроллере или карте памяти, доступной только владельцу;
- поддержка различных протоколов связи – взаимодействие с устройствами может осуществляться через Wi-Fi, Bluetooth и другие стандарты [2].

В перспективе возможна интеграция системы с ИИ для адаптивного управления, что сделает умные дома еще более эффективными.

Список модулей, используемых в макете:

- микроконтроллер Arduino;
- датчик освещенности;
- датчик температуры и влажности;
- датчик движения;
- ЖК-дисплей [3].

Альтернативные способы использования модуля и технологий умного дома

Технологии умного дома и модуль Arduino находят широкое применение не только в сфере домашней автоматизации, но и в различных отраслях:

1. Промышленная автоматизация

Arduino и технологии автоматизации активно применяются на производстве для повышения эффективности и снижения затрат. Возможные применения:

- контроль температуры и влажности в производственных цехах;
- автоматизированное управление освещением и вентиляцией;
- мониторинг состояния оборудования и предупреждение о неисправностях;
- управление роботизированными механизмами и станками с ЧПУ;
- система отслеживания использования электроэнергии и оптимизации энергопотребления.

2. Медицина и здравоохранение

В медицине технологии умного дома и модуль Arduino используются для создания инновационных решений:

- умные медицинские устройства для мониторинга состояния пациента (например, измерение температуры, пульса, давления);
- автоматизированные дозаторы лекарств для точного контроля приема медикаментов;

- реабилитационные устройства, управляемые с помощью Arduino;
- системы удаленного мониторинга пациентов и передачи данных врачам.

3. Сельское хозяйство

В аграрном секторе использование технологий автоматизации позволяет значительно повысить урожайность и снизить затраты на ручной труд. Возможные решения:

- автоматические системы полива, основанные на датчиках влажности почвы;
- контроль микроклимата в теплицах (температура, влажность, освещенность);
- автоматизация кормления животных на фермах.

4. Транспорт и логистика

Arduino и технологии умного дома находят применение в сфере транспорта для создания более безопасных и эффективных решений:

- контроль состояния транспорта с помощью датчиков (температура двигателя, уровень топлива, скорость);
- системы автоматического управления освещением и вентиляцией в транспортных средствах;
- интеллектуальные парковочные системы с датчиками занятости мест;
- умные системы управления движением для оптимизации транспортных потоков в городах.

5. Образование и научные исследования

Arduino широко используется в образовательных учреждениях и лабораториях для изучения основ электроники, программирования и автоматизации:

- учебные проекты по робототехнике и программированию;
- лабораторные стенды для изучения физических процессов;
- исследования в области искусственного интеллекта и интернета вещей;
- разработка инновационных проектов студентами и преподавателями.

6. Системы безопасности и мониторинга

Безопасность – одна из ключевых сфер, где активно применяются технологии умного дома:

- автоматизированные системы видеонаблюдения с датчиками движения;
- умные замки и системы контроля доступа с использованием RFID и биометрических датчиков;
- сигнализация на основе датчиков дыма, газа и утечек воды;
- автоматизированные системы оповещения и защиты от проникновения [2].

Заключение

Таким образом, технологии умного дома и модуль Arduino применяются не только в жилищной сфере, но и во многих других отраслях. Их использование позволяет автоматизировать различные процессы, повысить удобство, безопасность и эффективность работы различных систем. Развитие данных технологий открывает новые перспективы для создания инновационных решений, которые будут полезны как в повседневной жизни, так и в промышленности, медицине, сельском хозяйстве, транспорте и образовании.

Список источников

1. Умный дом: справочник / К. А. Палагута и др.; под общ. ред. А. Л. Сафонова. М.: МГИУ, 2015. 184 с.
2. Дементьев А. «Умный» дом XXI века. М.: Ridero, 2016. 142 с.
3. Петин В. А. Создание умного дома на базе Arduino. М.: ДМК Пресс, 2018. 180 с.

УДК 681.5

Ахмад Маракастудент кафедры механики, мехатроники и робототехники
Юго-Западного государственного университета**М. П. Щербакова** – преподаватель Юго-Западного государственного университета –
научный руководитель**СОЛНЦЕЗАЩИТНЫЙ УЛИЧНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЗОНТ**

Несмотря на то, что Солнце играет важную роль в жизни, как человека, так и всего живого в этом мире, оно может и навредить. По словам врачей, чрезмерное нахождение человека под воздействием солнечных лучей может привести к ряду опасных последствий, таких как рак кожи, солнечные ожоги, аллергические реакции, возникновение пигментных пятен и преждевременное старение [1, 2].

В связи с этим существует ряд мер, призванных защитить человека и при этом позволяя все также находиться на улице [3].

А поскольку в условиях современного мира, где автоматизация и роботизация становятся неотъемлемой частью повседневной жизни, важной задачей является создание комфортных условий с минимальными затратами сил и времени [4].

Одним из таких решений является автоматизация управления уличными зонами, где необходимость регулировки их положения для поддержания оптимальной тени может решаться с помощью автоматизированных систем. Поскольку на сегодняшний день традиционные уличные зонты требуют постоянного ручного регулирования, что является неудобным, особенно в местах с высокой посещаемостью, таких как кафе, рестораны или частные владения.

Эти проблемы, как уже было упомянуто, решаются с помощью автоматических систем, способных адаптироваться к изменениям освещенности, направлению и интенсивности солнечного света.

Важно отметить, что использование таких решений способствует не только повышению удобства, но и снижению энергозатрат за счет использования солнечных панелей для питания системы.

Рассмотрим пример такой автоматической системы – уникальный, футуристический зонт Astro Titanium (рис. 1) [5]. Стоимость рассматриваемого устройства составляет немногим более 500 тысяч рублей.



Рис. 1. Зонт Astro Titanium

Рассмотрим преимущества и недостатки некоторых решений в существующих устройствах для автоматизации управления солнечным уличным зонтом (табл. 1).

Таблица 1

Существующее решение	Преимущества	Недостатки
Автоматический зонт с датчиками освещенности	Позволяет автоматически менять положение зонта в зависимости от солнечного света, высокая точность	Высокая стоимость, сложность в настройке и обслуживании
Зонт с червячным редуктором и электродвигателями	Плавное и точное управление углом наклона и высоты зонта	Необходимость регулярной замены аккумуляторов, высокая цена
Стационарная система	Надежная установка	Сложность установки в другом месте
Зонты с солнечными панелями	Экологически чистое питание, экономия энергии	Ограниченная мощность для больших зонтов, зависит от погодных условий
Отсутствие регулировки уровня зонта	Повышается надежность конструкции поскольку снижается количество соединений	Невозможность регулировки уровня зонта в зависимости от обстоятельств
Складной купол	Компактность, возможность находиться под солнцем не покидая места	Высокая сложность установки солнечных батарей, усложнение конструкции
Роботизированные системы управления зонтом	Высокая точность, возможность интеграции с другими системами	Сложность в настройке и эксплуатации, высокая стоимость

Также стоит отметить, что существующие решения являются достаточно дорогими в связи с чем не обрели особой популярности, при том, что являются действительно хорошим техническим решением.

Но не смотря на существующие недостатки, некоторые преимущества оказываются важнее. В связи с этим предлагаемый вариант для решения сложившейся проблемы (рис. 2) будет содержать некоторые из перечисленных решений [6, 7].

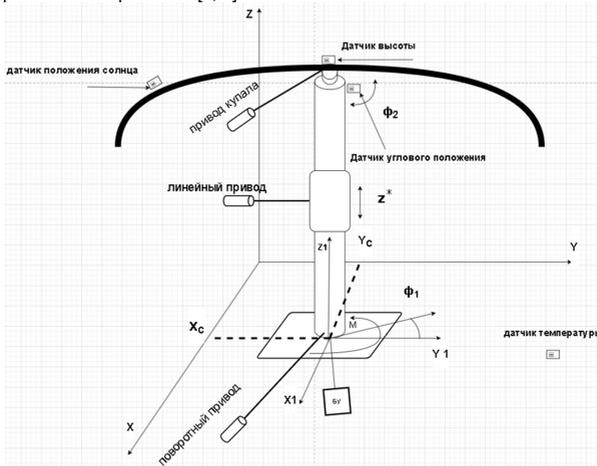


Рис. 2. Схема устройства уличного автоматического зонта: x_c – координата центра основания устройства на ось X ; y_c – координата центра основания устройства на ось Y ; φ_1 – угол перемещения главной оси; φ_2 – угол перемещения куполола; Z' – изменение перемещения основания; БУ – блок управления

Основные типы управления устройства включают следующие решения:

- **привод для вращения зонта** – используется червячный мотор-редуктор, обеспечивающий точность и плавность вращения;
- **линейный привод** – для изменения высоты зонта в зависимости от угла солнечного света;
- **сервоприводы** – для регулировки угла наклона купола;
- **солнечные панели** – обеспечивают систему автономным питанием;
- **контроллер управления** – использует данные от датчиков освещенности для точной настройки положения зонта;
- **система ПИД-регуляторов** – для настройки углов наклона и высоты с минимальными колебаниями.

Принцип работы предлагаемого устройства, следующий [8]: купол зонта устанавливается на необходимом уровне, с возможностью регулировки высоты расположения, при помощи линейного привода. Далее, в зависимости от положения солнца на небосводе, которое определяется датчиками, происходит изменения угла наклона купола зонта при помощи сервоприводов. При необходимости устройство может поворачиваться вокруг своей оси. Все электронные и электромеханические компоненты питаются от расположенных на куполе солнечных батарей, энергия с которых также может запасаться в накопителе для ее дальнейшего использования, зарядки гаджетов, например.

Преимущества предлагаемого решения заключаются с следующим:

1. **Экологичность:** использование солнечных панелей обеспечивает автономную работу, что уменьшает зависимость от электрической сети.
2. **Повышение комфорта:** автоматическая регулировка положения зонта обеспечивает постоянную тень, не требующую вмешательства человека.
3. **Экономия энергии:** система использует минимальное количество энергии, благодаря эффективному использованию солнечных панелей.
4. **Устойчивость и надежность:** подбор правильных двигателей и датчиков гарантирует долговечность системы.

Предложенное решение может значительно улучшить удобство использования уличных зонтов, особенно в общественных местах, а также внести вклад в развитие экологических технологий. Оно также может стать важным элементом в контексте умных городов и инфраструктур для устойчивого развития. Также предложенное решение является экономичным и экологически чистым, способствуя улучшению качества жизни и повышению комфорта в общественных местах.

Список источников

1. Официальный сайт всемирной организации здравоохранения. URL: <https://www.who.int/ru> (дата обращения: 27.01.2025).
2. *Сайфуллаева Г. И. и др.* Влияние солнца на организм человека. польза и вред солнечных лучей // Polish science journal. 2021. С. 44.
3. *Невиницына В. С. и др.* Влияние солнечных лучей на безопасность жизнедеятельности человека // Качество жизни населения и экология. 2022. С. 80–86.
4. Автоматизация жизни. URL: <https://cleverussia.ru/avtomatizacija-zhizni/> (дата обращения: 27.01.2025).
5. Зонт профессиональный Astro Titanium. URL: <https://parkmebel.com/product/zont-professionalnyy-astro-titanium-chernyy-3-5kh3-5/?r1=yandext&r2=> (дата обращения: 28.01.2025).
6. *Бесежерский В. А., Попов Е. П.* Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2007. 752 с.
7. *Кравец А. С.* Определение полярного момента инерции воздушного винта / Под ред. Г. Г. Баранова. Издание академии, 1945. 13 с.
8. *Брюханов В. Н. и др.* Теория автоматического управления. М.: Высшая школа, 2000. 268 с.

УДК 621

М. Д. Марков

ученик 10-го класса школы № 564

А. Р. Погор – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Введение

В современную эпоху освоения космического пространства обеспечение автономного энергообеспечения космических аппаратов остается одной из ключевых задач для успешного выполнения научных, коммерческих и оборонных миссий. Космические объекты, будь то спутники земной орбиты, марсоходы или дальнейшие межпланетные станции, требуют надежных и эффективных систем генерирования электроэнергии, способных работать в условиях экстремальных температур, высокой радиации и отсутствия доступа к традиционным источникам энергии.

Цель данной работы – провести сравнительный анализ современных систем генерирования электроэнергии для космических объектов, рассмотреть их преимущества и недостатки, а также обсудить перспективные направления развития данной технологии.

Существующие системы генерации электроэнергии в космосе

Система энергоснабжения космического аппарата – система космического аппарата, обеспечивающая питание других систем, во многом именно она определяет геометрию космических аппаратов, конструкцию, массу и срок активного существования [1].

Существует 3 основных типа энергоустановок:

- солнечные батареи и аккумуляторы;
- топливные элементы;
- радиоизотопные электрические генераторы (РИТЭГ).

Солнечные батареи и аккумуляторы

Солнечные батареи состоят из фотоэлементов – полупроводниковых устройств, преобразующих свет в постоянный электрический ток. Аккумуляторная батарея играет роль стабилизатора напряжения бортовой сети, так как солнечные батареи работают не постоянно (из-за затенения космических спутников Землей и другими объектами).

Внешний вид солнечной батареи космического аппарата представлен на рис. 1.

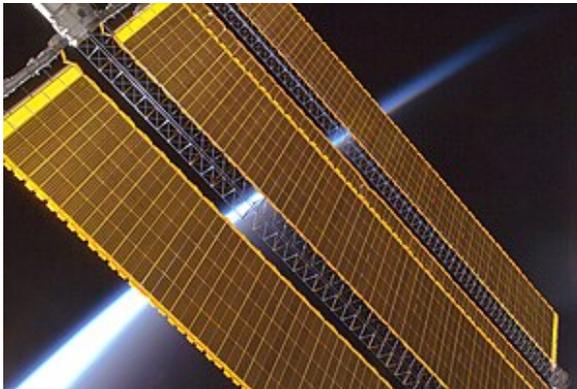


Рис. 1. Солнечная батарея на МКС [1]

Мощность излучения Солнца на орбите Земли составляет 1367 Вт/м^2 (солнечная постоянная). Это позволяет получать примерно 130 Вт на 1 м^2 поверхности солнечных батарей (при КПД 8-13 %) [1].

Недостатком является то, что солнечные батареи со временем деградируют под действием радиационного излучения и термических ударов (резкого перепада температур), что ограничивает срок их службы до нескольких лет. Но несмотря на это, в настоящее время солнечные батареи в паре с аккумуляторами считаются одним из самых надежных вариантов энергоустановок [2].

Топливные элементы

Топливные элементы обладают высокой удельной мощностью и оптимальными массогабаритными характеристиками по сравнению с сочетанием солнечных батарей и аккумуляторов. Они устойчивы к перегрузкам, обеспечивают стабильное напряжение и работают бесшумно. Однако их использование требует запаса топлива, поэтому они подходят для космических аппаратов с миссиями продолжительностью от нескольких дней до 1–2 месяцев. Чаще всего применяются водородно-кислородные топливные элементы (рис. 2), поскольку водород обладает наибольшей калорийностью, а образующаяся в результате реакции вода может использоваться на пилотируемых космических кораблях [1].

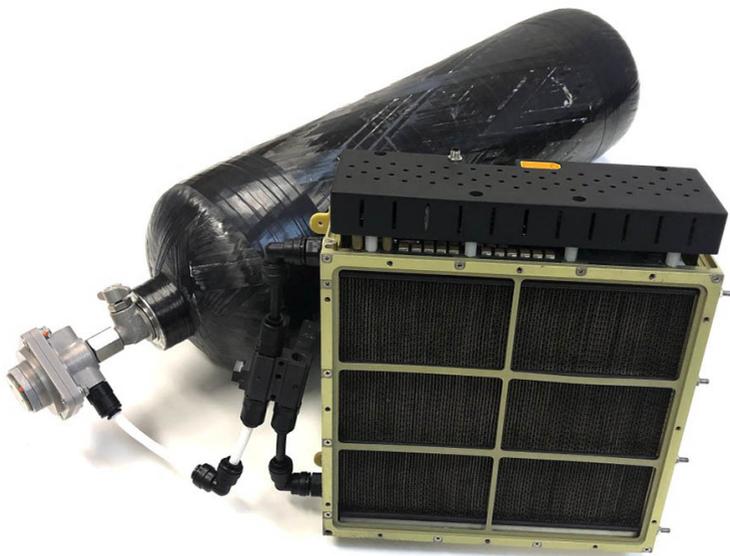


Рис. 2. Водородно-кислородная топливная ячейка

Для нормального функционирования системы необходимо отводить выделяющиеся в процессе работы тепло и воду. Ограничивающими факторами остаются высокая стоимость жидкого водорода и кислорода, а также сложность их хранения.

Радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РИТЭГ)

РИТЭГ – это устройство, преобразующее тепло от радиоактивного распада в электричество с помощью термоэлектрических элементов [1]. Радиоактивный изотоп (например, плутоний-238) испускает тепло при распаде. Термоэлектрические элементы (термопары) преобразуют температурную разницу между горячей и холодной сторонами в электрический ток. РИТЭГ применялись на таких космических аппаратах как: Вояджеры, Кассини, Кьюриосити (рис. 3) [3].



Рис. 3. РИТЭГ космического зонда «Кассини» [3]

Из преимуществ можно отметить: долговечность, надежность (отсутствие движущихся частей), независимость от солнечного света.

Недостатки: низкий КПД, около 5–10%, высокая стоимость, радиоактивность (требует защиты и контроля) [3].

Перспективные разработки

В настоящее время ведутся активные исследования в области электроустановок. С развитием технологий наблюдается стремление к увеличению мощности и эффективности энергетических систем космических аппаратов. Разрабатываются новые материалы для солнечных батарей с повышенным коэффициентом полезного действия, совершенствуются технологии накопления энергии, включая использование суперконденсаторов (рис. 4), которые представляют собой устройства для накопления электроэнергии, сочетающие в себе свойства обычных конденсаторов и аккумуляторов. Они обеспечивают высокую мощность, быструю зарядку/разрядку и долгий срок службы, что делает их важным элементом современных энергосистем.



Рис. 4. Суперконденсатор

Кроме того, ведутся исследования по созданию компактных и безопасных ядерных энергоустановок (рис. 5) для длительных миссий в глубокий космос. Ядерные энергоустановки используют тепловую энергию, выделяемую при радиоактивном распаде или ядерной реакции, для производства элект

тричества. Они обеспечивают надежное и автономное энергоснабжение космических миссий, где использование солнечных батарей становится невозможным из-за слабой интенсивности солнечного света или необходимости длительной работы аппарата. Например, ядерная установка "ТОПАЗ" представляет собой компактный ядерно-энергетический реактор, разработанный в СССР для обеспечения электроэнергией космических аппаратов. Она относится к классу тепловых ядерных реакторов малой мощности, которые используют принцип преобразования тепла от деления ядер в электричество с помощью термоэлектрических пар [4].

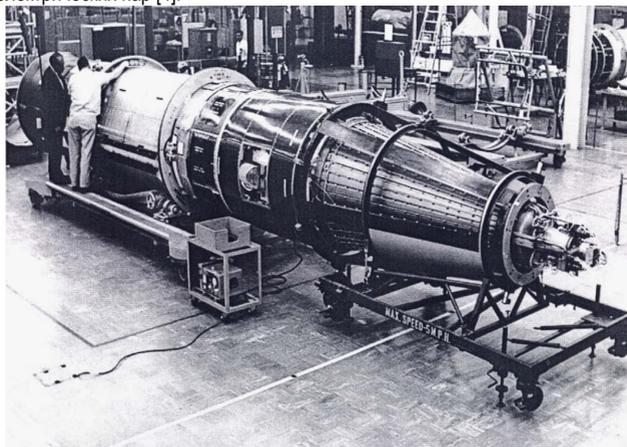


Рис. 5. Ядерный реактор-преобразователь «Топаз»

Россия также развивает технологии ядерных энергоустановок для космоса. Проект "Зенит" предусматривает создание мобильных ядерных реакторов для обеспечения энергии космических аппаратов и наземных станций на других планетах [5].

Сравнительный анализ энергоустановок

У каждой энергоустановки есть свои преимущества, такие как: простота и надежность солнечных батарей, КПД и мощность топливных элементов, и срок работы РИТЭГ (рис. 6), и каждая выполняет свои задачи: солнечные панели используются на орбитальных спутниках и МКС (с удалением от солнца падает эффективность), Топливные элементы используются в аппаратах шаттлового типа, а РИТЭГ используются в полетах во внешнюю область солнечной системы и за ее пределы.

Таким образом, выбор энергетической установки космического аппарата обусловлен требованиями и задачами, предъявляемыми к нему.

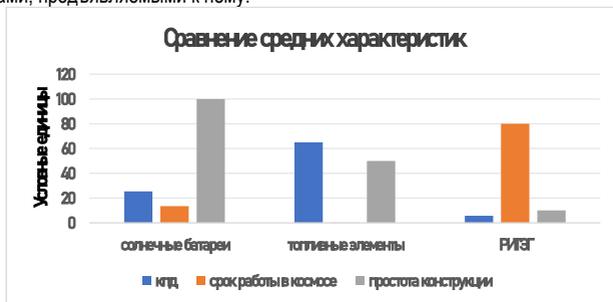


Рис. 6. Сравнительный анализ характеристик основных энергоустановок космических аппаратов

Заключение

Современные системы электроснабжения космических кораблей представляют собой сложные инженерные решения, адаптированные к уникальным условиям космического пространства. В ходе анализа различных технологий, таких как солнечные батареи, радиоизотопные термоэлектрические генераторы (РТГ), ядерные реакторы малой мощности и суперконденсаторы, становится очевидным, что выбор конкретной системы зависит от множества факторов, включая расстояние до Солнца, длительность миссии, энергетические потребности аппарата и требования к надежности.

Солнечные батареи остаются наиболее распространенным решением для космических аппаратов, работающих на ближних орбитах Земли и в пределах внутренней части Солнечной системы. Однако их эффективность значительно снижается за пределами пояса астероидов, где уровень инсоляции уменьшается. В этих условиях РТГ и ядерные реакторы становятся незаменимыми благодаря своей способности обеспечивать энергией космические аппараты в глубоком космосе и на других планетах без зависимости от солнечного света.

Список источников

1. Система энергоснабжения космического аппарата. URL: ru.wikipedia.org/wiki/Система_энергоснабжения_космического_аппарата (дата обращения: 15.03.2025).
2. Энергопреобразующие комплексы для наземной отработки и подтверждения прогнозируемой надежности систем электропитания космических аппаратов // Доклады ТУСУР. 2019. № 3, т. 22. URL: <https://journal.tusur.ru/arhiv/3-2019/energopreobrazuyuschie-kompleksy-dlya-nazemnoy-otrabotki-i-podtverzheniya-prognoziruemy-nadyozhnosti-sistem-elektropitaniya-kosmicheskikh-apparatov> (дата обращения: 15.03.2025).
3. NASA Radioisotope Power Systems Program. URL: <https://science.nasa.gov> (дата обращения: 15.03.2025).
4. "Ядерные источники энергии в космосе" (ред. А.А. Бургов, 1990): Подробное описание конструкции и принципа работы установки "ТОПА3". URL: <https://www.elibrary.ru> (дата обращения: 15.03.2025).
5. РОСКОСМОС, официальный сайт. URL: <https://www.roscosmos.ru> (дата обращения: 15.03.2025).

УДК 621.81

С. С. Митогуз

студент кафедры управления в технических системах

С. С. Тимофеев – старший преподаватель – научный руководитель

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ВЫХОДНОГО ВАЛА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА

В современных системах управления редукторы играют ключевую роль в преобразовании скорости и крутящего момента. Вал редуктора является его неотъемлемой частью, передавая крутящий момент между элементами. Выбор слишком малого сечения вала редуктора может привести к ряду серьезных проблем, негативно влияющих на работу механической системы. Во-первых, повышенные напряжения в материале могут привести к пластической деформации, усталостному разрушению или излому при неблагоприятных условиях эксплуатации. Во-вторых, недостаточная жесткость вала вызывает его прогибы, что нарушает точность зацепления зубчатых колес, приводит к их ускоренному износу и создает дополнительные нагрузки на подшипники, снижая срок их службы. Также возможны шумы, вибрации и биение, что ухудшает характеристики редуктора и снижает его КПД. Все это в конечном итоге ведет к преждевременному износу деталей редуктора, частому техническому обслуживанию, росту эксплуатационных затрат и даже аварийным ситуациям. В критических случаях разрушение вала может не только полностью вывести редуктор из строя, но и повредить сопряженные механизмы.

Выбор неподходящего размера вала может привести к серьезным сбоям в регулировании движения механизмов, потере точности в управлении и снижению общей эффективности работы автоматизированных систем управления. Недостаточная жесткость и возникновение вибраций могут приводить к неправильной работе датчиков обратной связи, что ухудшает точность регулирования. Это особенно критично в системах, требующих высокой точности позиционирования, таких как промышленные роботы и транспортные механизмы.

Дополнительные колебания вала могут также повлиять на динамику работы всей системы, вызывая запаздывания в передаче управляющих сигналов, резкие изменения в нагрузках и ухудшение стабильности работы механизмов. В автоматизированных процессах это может привести к сбоям в алгоритмах управления, увеличению энергопотребления и повышенному износу других элементов системы.

Таким образом, правильный расчет диаметра вала является не только необходимым условием для обеспечения долговечности, надежности и безопасности работы редуктора, но и важным фактором стабильного функционирования всей системы управления. Ошибки в выборе вала могут привести к снижению точности, ухудшению управляемости и увеличению эксплуатационных затрат, что особенно критично для современных автоматизированных производств [1].

На рис. 1 представлена модель цилиндрического редуктора, для которого необходимо проверить диаметр выходного вала. Данный редуктор предназначен для передачи механической мощности 62,5 Вт при максимальном крутящем моменте и работы с максимальной скоростью вращения $2,5 \text{ с}^{-1}$. Для обеспечения надежности конструкции необходимо выполнить расчет минимального поперечного размера вала, учитывая прочностные характеристики материала и коэффициенты запаса прочности.

Минимальный диаметр вала можно определить по формуле прочности при кручении:

$$d_0 = k_3 \cdot \sqrt[3]{\frac{M_{кр}}{0,2 \cdot \sigma}},$$

где $M_{кр}$ – критический момент, k_3 – коэффициент запаса, σ – допустимое напряжение материала.

Определим критический момент для дальнейшего расчета минимального диаметра вала:

$$M_{кр} = \frac{P}{\omega} = \frac{62,5}{2,5} = 25 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где P – мощность, требуемая для преодоления максимального момента нагрузки, ω – наибольшая угловая скорость.

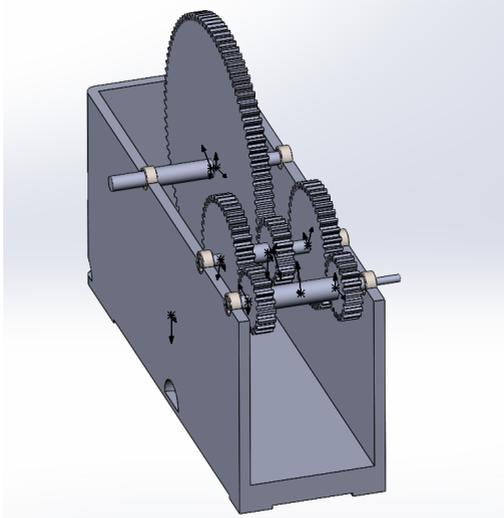


Рис. 1. Модель цилиндрического редуктора

Коэффициент запаса k_z берется в диапазоне (2,5÷ 3,5) [2].

Выбор материала зависит от множества факторов, включая рабочие условия, тип нагрузки, температуру, скорость вращения и требования к долговечности. Вал должен быть способен выдерживать значительные механические нагрузки, такие как кручение, сдвиг и изгиб, не поддаваясь деформации, а также должен быть устойчивым к усталостному разрушению, особенно при циклических нагрузках, которые могут привести к развитию микротрещин. Износостойкость материала необходима, поскольку вал взаимодействует с подшипниками и зубчатыми колесами, а плохая стойкость к износу может сократить срок службы всей системы. Кроме того, материал должен легко поддаваться механической обработке [3].

Наиболее распространенными материалами для валов являются стали, такие как углеродистая, легированная и нержавеющая. Углеродистая сталь, например, сталь марки 45, используется для валов с умеренными нагрузками и обладает хорошей обрабатываемостью и механическими свойствами. Легированная сталь, которая включает в себя добавление легирующих элементов, таких как хром или никель, улучшает прочность, усталостную прочность и износостойкость. Нержавеющая сталь используется в условиях повышенной влажности или агрессивных сред благодаря своей стойкости к коррозии. Для высоких нагрузок часто используется закаленная сталь, которая подвергается термической обработке для увеличения твердости и прочности, что делает ее идеальной для работы в условиях значительных нагрузок. Чугун используется для валов с низкими и средними нагрузками, так как он обладает хорошими антивибрационными свойствами, но уступает стали по прочности и износостойкости. В некоторых случаях, например, при необходимости сочетания легкости и высокой прочности, используются титановый сплав. Этот материал также устойчив к коррозии, но дороже и сложнее в обработке. Валы также могут быть выполнены из высокопрочных пластиков или композитных материалов, которые применяются в специализированных приложениях, где требуется легкость и стойкость к коррозии, но такие материалы имеют ограничения по прочности и износостойкости при высоких нагрузках [4]. В табл.1 представлены напряжения сталей различных марок при температуре 20°C, применяемых для изготовления валов цилиндрических редукторов [5].

Напряжения сталей различных марок

Название материала	Напряжение материала, Н · м ²
Углеродистая сталь Ст3	140 · 10 ⁶
Легированная сталь 09Г2	180 · 10 ⁶
Нержавеющая сталь 08Х18Н10	168 · 10 ⁶
Углеродистая сталь Ст45	200 · 10 ⁶

Рассчитаем минимальный диаметр для Ст3:

$$d_0 = 2,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{25}{0,2 \cdot 140 \cdot 10^6}} = 0,0241 \text{ м} = 24,1 \text{ мм.}$$

В соответствии с формулой выполняем аналогичные вычисления для выбранных марок стали.

Минимальные размеры диаметров для сталей

Название материала	Минимальный диаметр
Углеродистая сталь Ст3	0,0241
Легированная сталь 09Г2	0,0221
Нержавеющая сталь 08Х18Н10	0,0227
Углеродистая сталь Ст45	0,0214

Графическое представление зависимости диаметра от коэффициента запаса прочности для различных марок стали приведено на рис. 2.

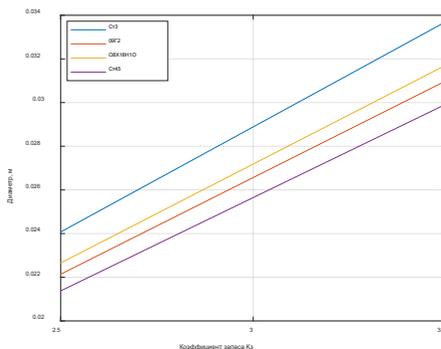


Рис. 2. График зависимости диаметра от коэффициента запаса

Анализ представленного рисунка показывает, что зависимость диаметра вала от коэффициента запаса прочности является линейной. Это означает, что при уменьшении коэффициента запаса снижается и требуемый диаметр вала. Однако при этом необходимо учитывать не только статическую прочность, но и усталостные характеристики материала, а также условия эксплуатации, чтобы обеспечить долговечность и надежность работы редуктора.

Помимо запаса прочности, на размер вала оказывает существенное влияние и материал, из которого он изготовлен. Чем ниже допустимое напряжение материала, тем больший диаметр требуется

для обеспечения необходимой прочности и жесткости конструкции. Это объясняется тем, что более прочные материалы способны выдерживать большие нагрузки при меньшем сечении.

Таким образом, оптимальный выбор материала с высокой прочностью и обоснованным коэффициентом запаса позволяет минимизировать габариты вала без ущерба для его эксплуатационных свойств.

Список источников

1. *Афанасьев В. В., Чернявский В. А.* Детали машин и основы конструирования. М.: Машиностроение, 2015. 512 с.
2. *Смирнов А. Н., Козлов Д. П.* Анализ усталостной прочности валов редукторов при переменных нагрузках // Вестник машиностроения. 2021. № 3. С. 45–52.
3. *Лебедев А. П.* Материалы для валов: сравнение прочностных характеристик // Инженерный журнал. 2022. URL: www.engineering.ru (дата обращения: 13.03.2025).
4. *Васильев П. Н., Орлов А. В.* Прочностные характеристики валов из различных материалов // Известия ВУЗов. Машиностроение. 2021. № 5. С. 78–85.
5. ГОСТ 12080-66. Валы зубчатых передач. Конструкция и размеры. М.: Изд-во стандартов, 1966. 12 с.

УДК 621.3

Н. С. Митрофанов

аспирант Оренбургского государственного университета

Н. Г. Семенова – доктор педагогических наук, кандидат технических наук,

профессор Оренбургского государственного университета – научный руководитель

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Ввиду стремительного развития информационных технологий широко применяются системы искусственного интеллекта в электроэнергетике. В данной статье представлен анализ применения искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования электропотребления по различным классификациям: методу обучения; топологии; модели; характеру связи.

Современная система электроснабжения характеризуется возрастанием сложности процессов и множеством условий, влияющих на ее функционирование. Подобные условия создают проблемы для управления и прогнозирования электропотребления. На данном этапе развития информационных технологий, широко применяются системы искусственного интеллекта. Развитие этих систем обусловлено большим количеством цифровых данных и быстрым развитием вычислительной мощности компьютера.

Власти машинного обучения различают три типа задач: классификации, кластеризации и регрессии. Классификация – это типа задач, в котором искусственная нейронная сеть обучается на основе заранее известных об объекте данных. Задачей классификации состоит в классифицировании объектов на основе полученных данных. Классическим примером задачи классификации считается распознавание объектов на фотографии. Задача кластеризации схожа с задачей классификации, основное отличие в том, что метки и категории изучаемого объекта изначально не определены. Задача состоит в разбиении совокупности объектов на однородные группы (кластеры). Примером задачи кластеризации можно назвать объединение в группы объекты электроэнергетики, предприятия, институты, тесно связанные друг с другом в электроэнергетической сфере. Регрессия – это тип задач машинного обучения, при котором модель обучается на основе числовых значений исходных данных [1]. Задача регрессии заключается в предсказании новых числовых значений, на основе исходных. Примерами задачи регрессии можно назвать любой тип прогнозирования.

Ввиду разнообразия искусственных нейронных сетей (ИНС) существует несколько типов классификаций ИНС, к основным из которых нами отнесены:

- по способу обучения;
- по топологии нейронной сети;
- по архитектуре нейронной сети;
- по характеру связей между нейронами.

В зависимости от метода обучения ИНС делят на: сети, использующие обучение с учителем; сети, использующие обучение без учителя и сети, обучаемые с помощью подкрепления. Обучение с учителем характеризуется тем, что во время обучения нейронная сеть располагает истинно верными ответами (выходными данными) на каждый входной параметр [2]. Эти данные представляют собой обучающие пары, на основе которых происходит обучение. Полученные выходные параметры сравниваются с целевым входным вектором, полученная по обратной связи ошибка минимизируется за счет конфигурации весовых коэффициентов до получения желаемого результата. Обучение с учителем лучше всего подходит для ИНС, решающих задачу классификации. Например, для создания единой отраслевой системы классификации объектов электроэнергетики, с целью автоматизации управления и целостности большой системы электроснабжения. Главной проблемой обучения с учителем является то, что такой вид обучения не подходит для работы с неопределенными видами данных, стоит отметить и то, что для обучения необходимо собрать большой объем данных, особенно если конечной целью обучения стоит выявления наиболее точного результата.

В случае обучения без учителя, на вход сети подаются данные, для которых заранее неизвестны истинные выходные значения. Алгоритм обучения без учителя применяется только когда известно мно-

жество входных векторов. В процессе обучения весовые коэффициенты перестраиваются так, чтобы на выходе получались согласованные данные [3]. ИНС, обученные методом без учителя, лучше всего, справляются с задачами кластеризации. Существенным недостатком данного алгоритма обучения является то, что ИНС может ошибиться на этапах группировки множеств на классы или определения связей между объектами. Также обучение требует большого объема данных и занимает значительное время, так как обучение необходимо проводить в несколько итераций, чтобы получить наиболее точные выводы.

Обучение с подкреплением – это совокупность методов машинного обучения, основанных на взаимодействии с окружающей средой. Нейронная сеть, взаимодействуя с определенной областью, переходит в новое состояние. В зависимости от этих действий система получает числовое вознаграждение, которое может как положительным, так и отрицательным [4]. Простейшая модель обучения с подкреплением состоит из следующих элементов:

- множества состояний окружающей среды;
- множества действий (наблюдений);
- множества числовых вознаграждений.

Важными особенностями обучения с подкреплением являются задержка сигнала подкрепления и обучением методом проб и ошибок. При обучении стоит следить за последовательностью действий и полученным вознаграждением с целью оценки эффективности модели [5]. Данный метод обучения нашел широкое применение в области повышения надежности электрических сетей. Обучение с подкреплением помогает определить мероприятия, необходимые для ликвидации перенапряжений и повышения устойчивости сети.

Для краткосрочного и оперативного прогнозирования электропотребления целесообразно использовать метод обучения ИНС с учителем, а для долгосрочного прогнозирования – методы обучения без учителя и с подкреплением.

По топологии (способам связи), ИНС делят на три основных типа: полносвязанные, многослойные и нейросети с локальными связями. Полносвязанная сеть, представляет собой сеть, в которой каждый нейрон в слое связан с нейроном следующего слоя. Использование полносвязанных слоев нашло широкое применение в задачах классификации и прогнозирования. Полносвязанная сеть имеет свой ряд преимуществ, например, возможность использования полносвязанных слоев во всех видах нейронной сети и возможность изучения любой функции, представленной в виде математической модели. Нейроны полносвязанного слоя могут адаптироваться к любым изменениям входных данных. К существенному недостатку такого типа связи можно отнести то, что с ростом числа узлов, возникает большое число соединений между ними.

В многослойной сети нейроны объединяются в слои, содержащие неограниченное число нейронов с входными данными, и не зависящие от количества нейронов в других слоях [6]. Помимо входных и выходных слоев в сети есть один или несколько скрытых слоев, необходимые для обработки входных данных. Многослойный тип связей обрел большую популярность в задачах кластеризации, в случаях, когда системе не сообщается о принадлежности входных данных к какому-либо классу.

В нейронных сетях с локальными связями нейроны располагаются в узлах решетки прямоугольной или гексагональной формы. Каждый из них связан с четырьмя в окрестности фон Неймана, шестью в окрестности Голея или восемью в окрестности Мура своими ближайшими соседями [7].

Анализ научно-технических публикаций в области применения ИНС в задачах прогнозирования электропотребления позволил заключить, что чаще всего разработчики используют полносвязанную ИНС или многослойную.

По модели нейронной сети различают сети прямого распространения, рекуррентные нейронные сети, радиально-базисные сети и нейронные сети Кохонена. Сети прямого распространения – это ИНС, сигнал в которых распространяется прямолинейно от входного слоя к выходному. Самая простая нейронная сеть прямого распространения имеет в себе персептрон с одним скрытым слоем, и может использоваться в электроэнергетике для анализа режимов работы энергетических систем, определения места аварии [8]. Сети прямого распространения нашли широкое применение в задачах классификации, распознавания объектов и прогнозирования.

Рекуррентные нейронные сети (РНС) относятся к классу многослойных нейронных сетей с обратным распространением информации [9]. Данный тип сетей считается развитием сетей прямого распространения с добавлением обратных связей, которые используются при обработке сигналов. В зависимости от расположения обратных связей, действующих на организацию связей в нейронах, выделяют два класса РНС: глобальные, содержащие обратные связи между нейронами одного слоя или нескольких слоев; локальные, содержащие обратные связи внутри самих нейронов [10]. РНС применяются в задачах прогнозирования электропотребления, с использованием прошлогодних данных в качестве эталонных. Основным недостатком РНС можно назвать подверженность ошибкам при обработке большого объема данных. Это связано с потерей исходной информации при обработке длинных последовательностей.

Сети радиально-базисных функций – это тип сетей прямого распространения, выполняющие аппроксимацию и интерполяцию функций для решения задач. Развитием данных сетей являются адаптивные радиально-базисные функции, включающее адаптивные функции, позволяющие динамически настраивать параметры радиально-базисных функций [11]. Радиально-базисные функции чаще всего применяют в задачах классификации и регрессии, в частности, в задачах прогнозирования. К достоинствам радиально-базисных функций можно отнести простую структуру с одним скрытым слоем, что позволяет проводить прямой расчет весов, и быструю обучаемость.

Нейронные сети Кохонена относятся к классу самоорганизующихся нейронных сетей с обучением без учителя. Данный тип нейронных сетей используется в задачах кластеризации, то есть сеть принимает решение о попадании объекта в какой-либо кластер, на основе его признаков. Самой известной версией нейронной сети Кохонена можно считать самоорганизующиеся карты. Использование карт позволяет представить выходные данные в виде двумерной сетки, что упрощает проведение анализа полученных данных. Самоорганизующиеся карты используются для прогнозирования, нахождения закономерностей в большом массиве данных, определении независимых признаков в наборах данных и сжатии исходной информации [12]. К преимуществам самоорганизующихся карт можно отнести: быстрое обучение, возможность визуализировать выходные данные, возможность сжатия многомерного массива данных. К недостаткам можно отнести предопределенность кластеров данных.

Для прогнозирования электропотребления целесообразно применять радиально-базисные функции, это позволит сократить время на обучение сети и подстроить функцию для постоянной изменчивости параметров системы электроснабжения. С точки зрения простоты реализации программы, следует выбрать самые простые сети прямого распространения.

По характеру связей между нейронами различают нейронные сети с фиксированными и динамическими связями. В сетях с фиксированными связями на время обучения и решения задач структура остается неизменной. Значения весовых коэффициентов также остается постоянной на протяжении всего процесса. Нейронные сети с динамическими связями, напротив, позволяют изменять свою структуру во время работы. Это может происходить за счет изменения весовых коэффициентов или изменения архитектуры самой нейронной сети. Стоит отметить, что выбор типа связей между нейронами напрямую зависит от конкретных задач. Сети с фиксированными связями обеспечивают простоту и детерминированность, в свою очередь динамические связи улучшают адаптивность и эффективность в более сложных процессах.

Соблюдая принцип простоты реализации, следует выбрать нейронную сеть с фиксированными связями, это связано с постоянством структуры сети.

Анализируя научно-техническую литературу в области применения искусственных нейронных сетей в задачах прогнозирования электропотребления, можно сделать вывод, что для IT-специалиста, имеющего соответствующий опыт создания ИНС, стоит использовать многослойную радиально-базисную функцию с динамическими связями, обученную без учителя. Такая нейронная сеть позволит получить наиболее достоверный результат прогнозирования электропотребления в системе электроснабжения. Для специалиста в сфере электроэнергетики, руководствующегося принципами простоты реализации программы, стоит выбрать однослойную полносвязанную нейронную сеть с фиксированными связями, обученную с учителем.

Список источников

1. *Акжолов Р. К.* Машинное обучение // Вестник науки. Компьютерные и информационные науки. 2019. № 6(15). С. 348–351.
2. *Васенков Д. В.* Методы обучения искусственных нейронных сетей // Компьютерные инструменты в образовании. 2007. № 1. С. 20–29.
3. *Пальмов С. В.* Классификация и способы обучения нейронных сетей // Форум молодых ученых. 2016. № 4(4). С. 710–713.
4. *Килин Г. А.* Программный комплекс для реализации обучения с подкреплением // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 27. С. 195–208.
5. *Ротова О. М.* Обучение с подкреплением: введение // Теория и практика современной науки. 2020. № 1(55). С. 477–482.
6. *Помян С. В.* Классификация нейронных сетей для разработки универсальной архитектуры // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. 2019. № 3(63). С. 135–142.
7. *Розенблатт Ф.* Принципы нейродинамики: перцептроны и теория механизмов мозга. М.: Мир, 1965. 480 с.
8. *Андреев В. В.* Обработка сигналов нейросетью прямого распространения: аппроксимация и принятие решений // Вестник Чувашского университета. 2022. № 1. С. 14–22.
9. *Колмыков М. В.* Рекуррентные нейронные сети обработки видеoinформации на базе МП NM6403 // Информатика и прикладная математика. 2019. № 25. С. 55–59.
10. *Solovyeva E.* Types of recurrent neural networks for non-linear dynamic system modelling // Proceedings of 2017 XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements. 2017. P. 1–4.
11. *Белоконь Ю. Д.* Виды нейронных сетей: сравнение, преимущества и области применения // Научные исследования студентов и учащихся: сб. ст. XI Международной научно-практической конференции. 2024. С. 55–57.
12. *Манжула В. Г.* Нейронные сети Кохонена и нечеткие нейронные сети в интеллектуальном анализе данных // Фундаментальные исследования. 2011. № 4. С. 108–114.

УДК 378.147

Д. С. Митюков

аспирант кафедры электромеханики и робототехники

Н. В. Савельев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Введение

Цель работы – рассмотрение современных подходов к оценке состояния робототехнических систем с позиции энергетических показателей их функционирования. Элементы машин технических систем представляются как энергопроводы механической, электрической, гидравлической и другими видами энергии.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности работы робототехнических систем, применяемых в различных отраслях, путем рациональной организации их обслуживания и ремонта. Снижение вероятности преждевременного выхода из строя деталей и узлов робототехнических систем и предотвращение аварийных ситуаций связано с информативностью процесса диагностирования и предиктивной оценкой состояния оборудования.

Обзор существующих методик показывает, что использование энергетических данных позволяет не только оценивать текущее состояние оборудования, но и прогнозировать потенциальные аварийные ситуации. Одним из ключевых направлений использования диагностических средств является оценка величины энергетических потерь при передаче энергии по энергопроводу машины. Диагностические приборы различного принципа действия измеряют энергетические параметры в процессе эксплуатации оборудования и в результате анализа отклонений в энергетических показаниях энергопровода делают оценку о состоянии его работоспособности.

Современные робототехнические системы играют ключевую роль в различных видах промышленности, таких как машиностроение, логистика, медицина тяжелое и легкое производство и т.д. Высокая надежность и производительность этих систем напрямую зависят от состояния их узлов и механизмов, таких как подшипники качения и скольжения, муфты, зубчатые передачи и ряд других узлов, которые в конструкции роботов являются критически важными элементами. Роботизированные системы обычно используются в непрерывных, синхронно работающих комплексах и несвоевременное выявление неисправностей в узлах и механизмах роботов приводит к значительным финансовым и производственным потерям.

В настоящее время существует много методов диагностики состояния узлов, механизмов и других элементов робототехнических систем. Основными из них являются: вибрационный анализ, акустические измерения, тепловая диагностика и контроль токовых параметров двигателей машин. Однако каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, требует наличия специализированного оборудования, а также обладает определенными ограничениями при расшифровке данных на ранних стадиях зарождения дефекта.

Целью данной статьи является рассмотрение и анализ существующих методов диагностики состояния оборудования, выявление их преимуществ и недостатков, а также обоснование актуальности создания нового метода для оценки работоспособного состояния узлов и механизмов.

Теоретическая основа рассмотрения наиболее часто используемых на сегодняшний день методов на энергетическом уровне. Согласно теории работоспособности технологических машин, все три их механизма могут быть представлены как энергопровод, по которому энергия, подводимая к двигателю, преобразуется в нужный вид и передается к исполнительному механизму [1]. В процессе передачи энергии часть ее теряется в виде тепла, волновой энергии, акустической ее части и т.д. Основная часть диагностических приемов основана на измерении энергии потерь и оценки ее величины. При превышении потерь этой энергии допустимого значения диагностируется выход элемента энергопровода из строя. Рассмотрим наиболее актуальные на сегодняшний день методы.

Вибрационная диагностика

Один из распространенных механизмов потери энергии в механизмах машин являются вибрационные явления. Вибрации сопровождают работу и узлов, и деталей машин [2] и всю машину в целом [3]. Это значит, что потери энергии за счет распространения волн колебаний элементов машин могут быть локальными, а могут охватывать и весь технологический агрегат в целом. Наличие чувствительных по мощности вибрационных потерь энергии при работе машин делает вибрационную диагностику одним из самых доступных видов контроля технического оборудования. Она основана на анализе параметров вибраций, которые в машине возникает либо непосредственно в энергопередающих элементах, либо в виде вторичной внутренней вибрации, обусловленной структурой объекта. Этот метод при правильной обработке волновых сигналов позволяет определить техническое состояние оборудования и прогнозировать возможные неисправности [4]. В ряде случаев вибрационная диагностика применяется для мониторинга состояния как всего агрегата, так и его отдельных узлов и механизмов. Это дает возможность не доводить оборудования до неработоспособного состояния и отойти от планово-предупредительного обслуживания и ремонта, а перейти к более эффективному методу прогнозирования состояния и в итоге обслуживать оборудование по состоянию. Принцип действия вибрационной диагностики заключается в том, что при работе любого оборудования возникают энергетические потери в виде волн колебаний, формируемых в узлах и механизмах, возникающие от различных внешних и внутренних факторов работы машины. Появление неисправности в машине увеличивает энергетические потери ее энергопровода, а значит, изменяет частотно-амплитудные характеристики вибрационных процессов. Изменение параметров волнового процесса можно фиксировать, используя вибродатчики и специализированное оборудование и при дальнейшей расшифровке получать информацию о его состоянии.

Основными характеристиками снимаемого вибрационного сигнала являются виброперемещение, виброскорость и виброускорение [4]. Основные этапы вибродиагностики заключаются в следующем:

- сбор вибрационных данных, с помощью специальных датчиков, например, таких, как акселерометры, которые устанавливаются на узлы и механизмы оборудования,

- анализ данных, который проводится по двум параметрам: амплитудном и частотном. По амплитудному параметру анализируется мощность динамического процесса. По частотному параметру выявляются повреждения, характерные для возникновения соответствующих частот.

Преимуществом вибрационной диагностики является то, что это метод **неразрушающего контроля**, т.е. диагностирование оборудования без разборки и разрушения его элементов и соответственно без его остановки, позволяет обнаруживать отклонения от нормы на ранних стадиях. При этом данный метод достаточно универсален, может быть применен в достаточно широком спектре ситуаций диагностирования оборудования.

При применении способа вибродиагностики на практике наибольшую сложность представляет процесс обработки диагностического сигнала [5, 6]. Для анализа сигналов используются следующие методы:

Пик-фактор – это отношение амплитуды сигнала (или его максимального значения) к его средней амплитуде, дает оценку возможных аномалий в сигнале, может использоваться для выявления изменений в механических характеристиках, таких как износ или повреждения при диагностике робототехнического оборудования и, в частности, подшипников. Измеряя ПИК-фактор вибрационного сигнала, можно определить степень отклонений от приемлемой работы оборудования, например, если в процессе работы возникает резонанс или другие типичные аномалии.

Анализ спектра вибросигнала предполагает использование преобразования Фурье для получения частотной картины сигнала. Этот метод помогает выявить скрытые частоты, которые могут быть связаны с различными типами повреждений, таких как дисбаланс, неправильная установка или износ подшипников. В процессе диагностики анализируются частоты, которые связаны с различными типами повреждений, например, гармоники вращения, дефекты зубьев шестерен, несоосность валов и т.п. Чрезмерные амплитуды на определенных частотах могут указывать на наличие трещин, износ и другие неисправности в механизме. Данный вид обработки сигнала позволяет точно выявить источник вибраций, эффективен для диагностики динамических повреждений. Но при этом он требует качественного и

дорогого измерительного оборудования, требует предварительно известных типичных частотах нормальной работы оборудования.

Анализ огибающей – метод диагностики узла, при котором извлекается низкочастотная огибающая вибрационного сигнала, полученная путем демодуляции высокочастотных компонентов, что позволяет анализировать более незаметные изменения в динамике механизма, которые не всегда видны при простом спектральном анализе [4]. Данный вид обработки сигнала применяется при диагностике мелких дефектов. Позволяет выявить мелкие дефекты, такие как износ подшипников, микротрещины или микродефекты, которые проявляются на низкочастотных составляющих сигнала; раннее обнаружение неисправностей. Метод может помочь обнаружить неисправности на ранних стадиях их развития, прежде чем они станут критичными. При этом данный метод обработки сигнала требует сложных вычислений и алгоритмов для извлечения огибающей и может быть чувствителен к шумам и помехам. Применяется для диагностики **редукторов и зубчатых передач**, в которых неравномерность вибрации свидетельствует о повреждении зубьев, некачественной сборке или другом дефекте, **мониторинг состояния подшипников** – изменения вибрационных характеристик указывают на износ или дефект подшипников, **контроль электрических машин** – позволяет выявить дефекты роторов, статорных обмоток и системы вентиляции. Ограничения метода: **чувствительность к внешним шумам** – вибрационные сигналы могут содержать сторонние шумы; **сложности при интерпретации данных** – для правильного анализа требуется высококвалифицированный персонал; **особенности применения в металлургии** – например прокатные станы имеют сложные вибрационные спектры из-за переменных нагрузок и много-режимности работы.

Несмотря на сложности, этот вид диагностики остается одним из самых эффективных методов слежения за состоянием оборудования, в состав которого входит вращающиеся и движущиеся узлы и механизмы.

Метод тепловой диагностики

Метод тепловой диагностики основан на потере энергии в энергопроводе в виде тепла. Тепловая диагностика основана на анализе теплового излучения, образующегося в процессе работы агрегата. Этот метод позволяет выявлять скрытые дефекты и предотвращать несчастные случаи путем регистрации изменений температуры, связанных с трением, износом или нагрузкой [7]. Применяя метод тепловой диагностики, например, для диагностики подшипников, которые работают в условиях трения, можно контролировать режим их работы. Температурный профиль отражает **текущее состояние узла** – исправный узел имеет стабильную температуру, неисправный – повышение температуры выше нормальной эксплуатации, то есть перегрев, что сигнализирует о дефектах, износе, недостаточной смазке или внешних перегрузках.

Измерение температуры проводится:

- с использованием тепловизоров, создающих термограммы – позволяют визуализировать тепловую картину. Например, тепловизор фиксирует нагрев выше 90 °С, что указывает на перегрузку или износ,

- точечными инфракрасными пирометрами – используются для измерения температуры в одной точке, например, на наружной поверхности корпуса. Например, пирометр показывает повышение температуры корпуса на 15 °С выше стандартного диапазона,

- встроенными термодатчиками – например, термодатчики или терморезисторы, интегрированные в корпус элемента. Например, при превышении температуры на 25 °С срабатывает сигнал тревоги.

Примеры дефектов, обнаруживаемых тепловой диагностикой:

- износ элементов агрегата – повышенная температура из-за повышенного трения между телами качения и ступенями. Например, при разрушении дорожки качения или образовании потертостей на шариках температура может повыситься на 10–20 °С выше нормы;

- слишком мало или слишком много смазки – недостаточная смазка вызывает сухое трение, что приводит к локальному жжению. Избыточная смазка увеличивает сопротивление вращению, а также приводит к повышению температуры. На термограмме зоны перегрева отображаются в виде ярких точек на поверхности корпуса;

- установка – несоосность или неравномерная нагрузка приводят к неравномерному трению, что приводит к появлению локальных участков перегрева, которые видны при анализе теплового рисунка;
- дисбаланс или несоосность вала – нагрузка на одну сторону узла приводит к перепаду температур. На термограмме видны асимметричные зоны нагрева по всему телу.
- поврежденные уплотнения – утечка через поврежденные уплотнения снижает эффективность работы, вызывая перегрев.

Пример работы тепловой диагностики можно рассмотреть на нескольких сценариях: сценарий нормального состояния подшипника – подшипник вращается в стандартных условиях, температура корпуса стабильно удерживается в диапазоне 40–50 °С. Тепловая картина равномерна, без локальных перегревов. Сценарий перегрева из-за износа: в результате разрушения дорожки качения термограмма показывает зону локального перегрева до 70 °С в одной части корпуса. Это указывает на необходимость срочной замены подшипника; сценарий недостатка смазки – через 10 минут работы температура подшипника возрастает с 50 °С до 85 °С. Тепловая диагностика фиксирует сухое трение и сигнализирует о необходимости добавления смазки; сценарий перекоса вала – термограмма подшипника показывает асимметричное распределение температуры, с превышением нормы на одной стороне до 30 °С. Это указывает на механическую проблему в системе.

Преимущества:

- раннее выявление дефектов – даже небольшой подъем температуры может быть ранним признаком дефекта. Например, рост температуры на 10–15 °С относительно нормы часто указывает на начало разрушения элемента,
- бесконтактность – позволяет проводить диагностику без остановки процесса,
- высокая точность – современные тепловизоры и пирометры фиксируют изменения температуры с точностью до 0,1 °С.

Недостатки:

- зависима от условий эксплуатации – внешние источники тепла могут исказить результаты. Например, нагрев подшипника рядом с печью может быть ошибочно интерпретирован как дефект,
- только внешние дефекты – внутренние повреждения подшипника, не влияющие на тепловую картину, могут остаться незамеченными,
- необходимость опыта – анализ термограмм требует квалифицированного специалиста. Например, неравномерное распределение температуры может быть вызвано как дефектом, так и естественными условиями работы.

В итоге тепловая диагностика – это эффективный инструмент для мониторинга состояния узлов, позволяющий выявить потенциальные проблемы на ранних стадиях, минимизируя затраты на ремонт и простое оборудования. Однако для максимальной эффективности метод должен использоваться в сочетании с другими диагностическими подходами.

Диагностика по току электродвигателя

Диагностика по токовым сигналам основана на анализе изменений параметров электрического тока в обмотках двигателя. Такие изменения отражают механические и электрические аномалии, возникающие в системе, включая дефекты подшипников [8]. Работа электродвигателя завязана на преобразовании электрической энергии в механическую. Состояние механических элементов напрямую влияет на нагрузку двигателя, при этом любые изменения в механической части (например, износ или повреждение подшипников) вызывают изменения тока в фазах двигателя и спектра частотных составляющих тока. Анализ таких изменений позволяет выявить дефекты без прямого контакта с узлом.

Типичные сигналы дефектов узла:

- износ вращающихся элементов или подшипников – вызывает вибрации, которые приводят к появлению характерных гармоник в токе двигателя. Например, при повреждении шариков или роликов частоты вращения вала становятся кратными;
- недостаток смазки – увеличивает трение, вызывая нелинейные изменения крутящего момента, что приводит к модуляции тока на частотах, соответствующих скорости вращения;

– перекос вала – несоосность увеличивает нагрузку на подшипник, создавая неравномерные силы, что приводит к изменению в спектре тока, появляются низкочастотные составляющие;

– резонансные эффекты – при повреждении дорожек качения или шариков дефекты могут вызвать механический резонанс, который отражается в спектре тока в виде пиков.

Методы анализа тока для диагностики [9–11]:

– анализ временных сигналов – измерение и анализ формы сигнала тока в реальном времени. Например, если на графике временного сигнала появляются периодические пики, это указывает на отсутствие единства периодических культур;

– частотный анализ (FFT) – преобразование сигналов тока из временной области в частотную область позволяет различать гармоники через неисправности. Например, появление пиков на частотах, кратных $2x$, $3x$ частоте вращения вала, свидетельствует о повреждении тел качения;

– анализ огибающей сигнала тока – извлечение огибающей сигнала помогает выделить низкочастотные элементы, связанные с вибрацией. Например, огибающая с токовыми сигналами будет содержать колебания, модулированные на низких частотах;

– методы машинного обучения – шаблоны обучения на нормальных и дефектных данных позволяют автоматически распознавать дефекты. Например, классификатор определяет износ элементов на основе характерных изменений в сигналах тока.

Преимущества:

– бесконтактность – нет необходимости устанавливать датчики на подшипник или блок, диагностика осуществляется путем измерения токов двигателей;

– раннее выявление дефектов – метод обнаружения аномалий на ранней стадии, когда дефект еще не виден отчетливо;

– совместимость с другими методами – текущую диагностику можно использовать в сочетании с вибрационной и тепловой диагностикой для повышения точности;

– возможность мониторинга в реальном времени – современные системы позволяют анализировать текущие сигналы в режиме онлайн, предотвращая внезапные отключения;

– экономичность – использование существующих токовых датчиков минимизирует затраты на новое оборудование;

– масштабируемость – метод подходит для мониторинга большого числа двигателей;

– простота интеграции – данные тока могут быть легко собраны с помощью стандартных измерительных систем, например, через ПЛК.

Недостатки:

– зависимость от электромагнитных помех – сигналы тока могут быть искажены электромагнитными помехами, что снижает точность диагностики;

– чувствительность к нагрузке – изменения в спектре тока зависят от режима работы двигателя, и при нестабильной нагрузке диагностика может быть затруднена;

– необходимость сложной обработки данных – анализ токовых сигналов желает применения алгоритмов обработки данных и вычислительных мощностей;

– индиректность метода – диагностика по току оценивает состояние узлов косвенно, через влияние на нагрузку, что может снизить точность.

Для мониторинга состояния асинхронного двигателя без остановки используется анализ тока статора [12]. В штатном режиме работы в спектре тока видны основные гармоники с частотой питающего напряжения и несколько нечетных гармоник с меньшими амплитудами. Однако при неисправностях, таких как износ подшипников или межвитковые замыкания, спектр тока изменяется, что позволяет выявить эти проблемы. Износ подшипников приводит к эксцентриситету ротора, что вызывает изменения в проводимости воздушного зазора. Это отражается в спектре тока, где появляются новые гармоники, связанные с частотой вращения ротора. При межвитковом замыкании у обмотки статора увеличивается симметрия обмотки, что приводит к появлению дополнительных гармоник в спектре тока:

В случае асинхронного двигателя с числом пар полюсов $2p = 2$ важно анализировать четные гармоники низших порядков (например, $v=2,4,6$), которые имеют наибольшие амплитуды при межвитковом замыкании.

Для диагностики таких неисправностей исследуется спектр тока, где в логарифмическом масштабе видны изменения на частотах, соответствующих гармоникам.

Использование преобразования Гильберта

К огибающей формы тока применяется преобразование Гильберта [13], что позволяет получить формы амплитуд колебаний, которые особенно полезны для диагностики износа. В этом случае огибающая спектра осциллограммы отображается в линейном масштабе, что улучшает разборчивость сигналов, связанных с неисправностями. В итоге диагностика по электрическому току двигателя является перспективным и удобным методом контроля состояния узлов и механизмов оборудования, в том числе и подшипниковых узлов. Он позволяет выявить широкий спектр дефектов – от недостатка смазки до выхода из строя подшипников, без необходимости доступа к самим подшипникам. Однако для максимальной эффективности данный метод рекомендуется применять в комплексе с вибрационной и тепловой диагностикой.

Заключение

В статье рассмотрены некоторые часто используемые методы диагностики состояния оборудования такие как вибрационный метод, метод тепловой диагностики, диагностика по току электродвигателя. Установлено, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, при этом каждый из методов рекомендуется применять в совокупности с другими методами.

На основании анализа методов сделан вывод о важности разработки методов диагностики на основе энергетических показателей робототехнических систем. Такой подход позволит контролировать работоспособность узлов и механизмов робототехнических систем, уделять внимание ключевым аспектам его работы, таким как изменения в энергоэффективности и нагруженности, которые могут быть признаком начала неисправностей. Данный подход представляет собой перспективное направление, способное обеспечить более высокую точность оценки состояния робототехнических систем.

Таким образом, развитие методов энергетической диагностики позволит существенно повысить надежность и срок службы робототехнических систем, что особенно актуально в условиях их использования в критически важных отраслях промышленности.

Список источников

1. Савельев А. Н. Теория работоспособности технологических машин. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. 225 с.
2. Савельев А. Н., Савельев Н. В. Экспериментальная оценка динамических нагрузок в зоне трения вкладышей универсального шпинделя прокатного стана // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 2002. № 8. С. 51–53.
3. Катцын А. Н. Методы оценки технического состояния роторного оборудования по вибрации, применяемые на РУП «БМЗ», для диагностики основного и вспомогательного оборудования прокатных цехов. // Литье и Металлургия. 2010. № 1(54), 2(55). С. 250–254.
4. Вибрационный и тепловизионный методы контроля и диагностики роторного оборудования на ОАО «БМЗ» управляющая компания холдинга "БМК" / В. Б. Попов и др. // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии (Брянск, 2021). 2021. № 6(88). С. 49–55.
5. Савельев А. Н., Савельев Н. В. Частотно-амплитудный анализ напряжений в универсальном шпинделе привода прокатной клети. // Материалы шестнадцатой научно-практической конференции по проблемам механики и машиностроения. (г. Новокузнецк, 2006). Новокузнецк: Сибирский гос. индустр. ун-т, 2006. С. 218–224.
6. Алексеев А. А. Диагностика технического состояния динамически нагруженных узлов и механизмов металлорежущего оборудования. Выбор оптимального метода // Всероссийская научно-техническая конференция «Студенческая научная весна: Машиностроительные технологии» (Москва, 10 апреля, 2015). М.: ООО «КванторФорм», 2015. С. 12–20.
7. Новая техника и технология. Тепловая диагностика подшипников пассажирских вагонов / А. А. Миронов и др. // Автоматика, связь, информатика. 2007. № 10. С. 22–24.

8. *Коробейников А. Б., Сарваров А. С.* Анализ существующих методов диагностирования электродвигателей и перспективы их развития // *Электротехнические системы и комплексы*. 2015. № 1(26). С. 4–9.
9. *Баширов М. Г. Попов Н. К. Овчинникова А. Ю.* Метод диагностики неисправностей электродвигателей по спектру потребляемого тока // *Национальная ассоциация ученых (НАУ)*. 2019. № 44. С. 28–31.
10. *Сафин Н. Р. Прахт В. А. Дмитриевский В. А.* Оценка технического состояния асинхронных двигателей по спектральному составу токов статора // 6-я Межд. научно-практич. кон-ия «Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии» (Екатеринбург, 19 апреля 2017 г.). Екатеринбург: ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2017. С 218–221.
11. *Вейнреб К. Б.* Диагностика неисправностей ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2012. 58 с.
12. *Вейнреб К.* Диагностика неисправностей ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора // *Электричество*. 2012. № 7. С. 51–57.
13. *Сафин Н. Р.* Совершенствование методики токовой диагностики асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: дис. ... канд. техн. наук. 2017. 24 с.

УДК 62-229.312.2

М. А. Моныхов

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. М. Медунецкий – доктор технических наук, профессор – научный руководитель

АНАЛИЗ ТИПОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЗАХВАТНО-ФИКСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Малогабаритные зажимные устройства находят широкое применение в машиностроении, робототехнике, металлообработке и медицинской технике. Они обеспечивают надежную фиксацию деталей в процессе обработки, сборки или транспортировки.

Классификация электромеханических зажимов:

1. Винтовые электромеханические зажимы.
2. Кулачковые электромеханические зажимы.
3. Электромагнитные зажимные устройства.
4. Вакуумные зажимы.
5. Электроприводные рычажные зажимы.

1. Винтовые электромеханические зажимы:

Винтовые электромеханические зажимы – устройства, предназначенные для фиксации обрабатываемого изделия. Они широко используются в промышленности, особенно в машиностроении, на автоматизированных сборочных линиях и сварочных установках [1].

Основу конструкции составляет винтовой механизм, который приводится в движение электроприводом. Вращение винта приводит в действие прижимной механизм, что обеспечивает надежную фиксацию.

Преимущества винтовых электромеханических зажимов:

1. Высокая точность – обеспечивают надежную и стабильную фиксацию.
2. Долговечность – не требуют частого обслуживания по сравнению с гидравлическими или пневматическими аналогами.
3. Автоматизация – можно интегрировать в системы ЧПУ, роботов и конвейерные линии.
4. Энергоэффективность – потребляют меньше энергии, чем пневматические системы.
5. Безопасность – исключается риск утечки масла или воздуха, что делает их более экологичными.

2. Кулачковые электромеханические зажимы:

Кулачковые электромеханические зажимы – это устройства, в которых основной элемент зажима – кулачок, которые при вращении меняют свое положение и создают зажимное усилие [1].

Преимущества кулачковых электромеханических зажимов:

1. Быстрое срабатывание – кулачковый механизм обеспечивает мгновенный зажим.
2. Высокая надежность – простая конструкция без сложных узлов уменьшает вероятность поломок.
3. Автоматизация – можно интегрировать в системы ЧПУ, роботов и конвейерные линии.
4. Энергоэффективность – потребляют меньше энергии, чем пневмо- и гидрозажимы.
5. Компактность – кулачковые механизмы занимают меньше места по сравнению с винтовыми аналогами.

3. Электромагнитные зажимные устройства:

Электромагнитные зажимные устройства – устройства, использующие для фиксации детали магнитное поле.

Преимущества электромагнитных зажимов:

1. Быстрое и надежное крепление – мгновенное включение и отключение.
2. Отсутствие механического износа – нет движущихся частей, что увеличивает срок службы.
3. Равномерное распределение зажимного усилия – минимизирует деформацию детали.

Недостатки:

1. Ограничение по материалу – работают только с ферромагнитными металлами (сталь, чугун и т. д.).
2. Зависимость от электропитания – в классических электромагнитах деталь может освободиться при аварийном отключении питания.

3. Температурные ограничения – при высоких температурах эффективность магнитного зажима снижается.

4. Вакуумные зажимы:

Вакуумные зажимы – устройства, использующие для фиксации детали сжатый воздух, создаваемый компрессором.

Преимущества вакуумных зажимов:

1. Безопасная фиксация – равномерное давление исключает механические повреждения деталей.
2. Быстродействие – мгновенная активация и деактивация.
3. Отсутствие механического износа – минимум подвижных частей увеличивает срок службы.
4. Гибкость – подходят для фиксации деталей сложной формы.

Недостатки:

1. Ограничение по материалу – эффективны только для гладких и непористых поверхностей.
2. Зависимость от герметичности – даже небольшие повреждения рабочей поверхности снижают эффективность.

3. Дополнительное оборудование – требуется вакуумный насос и система трубопроводов.

5. Электроприводные рычажные зажимы

Электроприводные рычажные зажимы – устройства, использующие электропривод для управления рычажным механизмом, используемым для фиксации детали. Основу конструкции составляет рычажный механизм, преобразующий вращательное движение электропривода в поступательное усилие зажима [1].

Преимущества электроприводных рычажных зажимов:

1. Высокая точность – обеспечивают стабильное усилие зажима.
2. Автоматизация – интегрируются в роботизированные и ЧПУ-системы.
3. Безопасность – исключается утечка жидкостей или газа (в отличие от гидравлики и пневматики).

Недостатки:

1. Ограниченное усилие зажима – уступает гидравлическим системам в мощности.
2. Зависимость от электропитания – при сбоях питания деталь может освободиться.
3. Сложность конструкции – требует точной калибровки и настройки привода.

Анализ различных типов зажимных устройств показывает, что выбор оптимального решения зависит от условий эксплуатации, требований к усилию зажима, скорости работы и типа обрабатываемого материала:

1. Винтовые электромеханические зажимы отличаются высокой точностью и надежностью, но работают медленнее по сравнению с другими типами.

2. Кулачковые электромеханические зажимы обеспечивают быстрое срабатывание и компактность, что делает их востребованными в автоматизированных линиях.

3. Электромагнитные зажимы эффективны для работы с ферромагнитными материалами, но требуют постоянного электропитания.

4. Вакуумные зажимы идеально подходят для фиксации гладких и непористых поверхностей, однако зависят от герметичности и дополнительных вакуумных систем.

5. Электроприводные рычажные зажимы сочетают автоматизацию и энергоэффективность, но уступают гидравлическим аналогам в силе зажима.

Список источников

1. *Гриценко В. В.* Технологическая оснастка: учеб. пособие для студентов направления «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» всех форм обучения. 2019. 62 с.

УДК 004.896:004.942

В. А. Нахов

инженер-системотехник 2-й категории Института проблем точной механики и управления – обособленное структурное подразделение ФГБОН ФИЦ «Саратовский научный центр Российской академии наук»

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ФРЕЙМОВ

Рассмотрены типовые шаблоны, используемые для формального описания функциональных и нефункциональных требований. Предложен вариант универсального шаблона для описания функциональных и нефункциональных требований на основе форм Бэкуса-Наура. Дана оценка возможности использования предложенного шаблона.

В основе создания надежной, безопасной и полезной программы лежит четкое понимание того, что требует заказчик. Несмотря на рост и совершенствование технологий разработки, неправильное понимание требований заказчика все еще одна из главных причин негативных результатов проектов. Самое неприятное, что даже проект, кажущийся успешным для разработчиков, может провалиться из-за несоответствия ожиданиям заказчика, что станет очевидным только в конце. Простую систему можно разработать, основываясь на понимании разработчика, полученном после общения с небольшим числом заказчиков. Однако для сложных систем такой подход неприемлем из-за огромного объема информации и серьезных последствий ошибок [1].

Чтобы облегчить будущее понимание требований, необходимо использовать точный и понятный язык, например, формализованные термины. Простейший пример – использование слова «должен» как ключевого слова для обозначения обязательного требования. Некоторые методологии предлагают использовать разные ключевые слова для указания приоритета: «должен», «рекомендуется» и «возможно». Чаще всего требования отражают либо необходимые заказчику возможности, либо ограничения, связанные с этими возможностями или потребностями. При этом каждое требование должно описывать только одну конкретную потребность [2].

При этом в тексте требования должен указываться «тип пользователя».

Типичное требование, описывающее функцию (потребность), выглядит следующим образом:

<Тип пользователя> должен иметь возможность <описание возможности>

При наличии особых требований к производительности или ограничений, относящихся к конкретному требованию, его текст может быть дополнен соответствующими деталями.:

<Тип пользователя> должна <описание действия> с <показатель производительности> от <момент отсчета>.

Или

<Тип пользователя> должна <описание действия> с <показатель производительности> от работа в <условия эксплуатации>.

Так, например, выше сформулированное общее требование в частном случае может выглядеть так (содержать условия производительности и ограничения):

Система должна сформировать признак готовности в течение 60 секунд с момента подачи питания.

Как продемонстрировано ранее, шаблоны помогают стандартизировать формулировки требований. Для этого необходимо создать библиотеку или базу данных шаблонов, покрывающих разные виды требований. Эти шаблоны можно постоянно совершенствовать, адаптировать и расширять, создавая тем самым более полный и эффективный набор, пригодный для повторного использования в других проектах.

Создание требований с использованием шаблонов можно разделить на два шага:

1. Выбор подходящего шаблона из библиотеки или базы данных.

2. Заполнение пустых полей шаблона конкретными данными.

Этот подход позволяет отделить шаблон от данных. Таким образом, каждое требование будет ссылаться на шаблон, а данные будут храниться отдельно, как его атрибуты.

Для формального описания требований используем структуры, определяющие, из каких элементов состоит указанное множество данных и какие отношения заданы на этом множестве [3,4]. В соответствии с вышеупомянутым описанием для каждого требования <Req> шаблон требований в форме Бэкуса-Наура будет выглядеть следующим образом:

<Req> = <IDReq> <NameReq> ToDo <DesToDo> Conditions <DesCond> <Param> <Mesure>, где IDReq, NameReq, ToDo, DesToDo, Conditions, DesCond, Param, – лингвистические переменные, означающие соответственно: 1) идентификатор требований: <IDReq> = idreq₁|idreq₂...|idreq_n; 2) наименование требований: <NameReq> = namereq₁|namereq₂...|namereq_n; 3) описание требования: <DesToDo> = destodo₁|destodo₂...|destodo_n; 4) описание условия: <DesCond> = descond₁|descond₂...|descond_n; 5) параметры условия: <Param> = param₁|param₂...|param_n; - единица измерения: <Mesure> = mesure₁|mesure₂...|mesure_n. ToDo – непосредственно требование (должно выполнять, должно учитывать и т.д.). Conditions – условие которое будет определять функциональные и не функциональные требования.

Рассмотрим формализацию требований: 1) «Система должна сформировать признак готовности в течение 60 секунд с момента подачи питания», 2) «Блок должен нормально функционировать при температурах от -40°C до +60°C, 3) «Система должна провести внутренний контроль и сформировать признак исправности внутренних модулей». Требования в форме Бэкуса-Наура будут представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ п.п	Req		ToDo	Conditions		
	<IDReq>	<NameReq>	<DesToDo>	<DesCond>	<Param>	<Mesure>
1	ТребСис12	Система	должна сформировать признак готовности	с момента подачи питания	в течение 60	секунд
2	ТребСис13	Блок	должен нормально функционировать	при температурах	от -40 до +60	°C
3	ТребСис14	Система	должна провести внутренний контроль			
4	ТребСис14.1	Система	должна сформировать признак исправности внутренних модулей			

Рассмотренный шаблон является универсальным для функциональных и не функциональных требований. Данный шаблон позволяет разделить требования на функциональные и не функциональные и произвести оценку полноты и непротиворечивости. Полученное формальное описание является основой для преобразования требований в модель SysML [5, 6], с целью дальнейшей оценки и получения качественного программного кода.

Список источников

1. Кулямин В. В. и др. Формализация требований на практике // Препринт. 2006. № 13. С. 1–70.
2. Разработка и управление требованиями / Э. Халл, К. Джексон, Д. Дик. Springer, London Berlin, 2005. 226 с. ISBN 1-85233-879-2.
3. Фоминых Д. С. Модели и алгоритмы информационно-измерительной системы для процесса формования листового стекла: автореф. дис. канд. техн. наук в технической отрасли наук: 05.13.18. Саратов, 2005. 20 с.
4. Tietz V. et al. Why the use of domain-specific modeling in airworthy software requires new methods and how these might look like? (extended version) // Innovations in Systems and Software Engineering. 2024. 21 с. <https://doi.org/10.1007/s11334-024-00565-2>.

5. Инжиниринг цифрового тренажера для обучения операторов формования листового стекла / В. П. Мешалкин, Т. Б. Чистякова, Д. Ю. Петров // Программные продукты и системы. 2024. Т. 37. № 2. С. 561–566 (SysML).
6. *Петров Д. Ю.* Модельно-управляемое проектирование автоматизированной системы идентификации дефектов листового стекла // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 4. С. 41–48. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-4-41-48>. EDN NSYUTU. (SysML).

УДК 004.896

А. А. Никольская, Р. С. Рудяк, А. Э. Цветков

студенты кафедры управления в технических системах

Н. Л. Гречкин – старший преподаватель – научный руководитель

РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОТ АНАЛИЗА ДАННЫХ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ

Введение

Современная промышленность сталкивается с необходимостью повышения эффективности производства, снижения затрат и улучшения качества продукции. В условиях высокой конкуренции традиционные методы управления и анализа данных часто оказываются недостаточными. Искусственный интеллект становится ключевым инструментом для решения этих задач, позволяя обрабатывать большие объемы данных, выявлять скрытые закономерности и оптимизировать процессы. Актуальность внедрения ИИ обусловлена ростом объемов данных от датчиков, систем мониторинга и других источников. Традиционные методы анализа не всегда справляются с такой нагрузкой, тогда как ИИ предлагает новые подходы, включая прогнозирование и автоматизацию. Цель данной работы – рассмотреть основные направления применения ИИ в промышленности, проанализировать используемые технологии, а также оценить преимущества и сложности внедрения.

Основные направления применения

Искусственный интеллект находит применение в различных сферах промышленного производства. Одним из ключевых направлений является прогнозирование спроса и планирование производства. Алгоритмы машинного обучения анализируют исторические данные, учитывают сезонные колебания и рыночные тренды, что позволяет предприятиям оптимизировать производственные планы и минимизировать финансовые потери.

Важное значение имеет предиктивное обслуживание оборудования. Системы на основе ИИ непрерывно мониторят состояние промышленного оборудования через сеть датчиков, фиксирующих вибрацию, температуру, давление и другие параметры. Это позволяет выявлять потенциальные проблемы до возникновения аварийных ситуаций, значительно сокращая простои и затраты на ремонт. Контроль качества продукции также претерпевает изменения благодаря внедрению технологий компьютерного зрения. Современные системы способны автоматически анализировать изображения продукции, выявляя малейшие отклонения от стандартов. Такой подход не только повышает точность контроля, но и значительно ускоряет производственные процессы.

Используемые технологии

В промышленных приложениях искусственного интеллекта широко используются методы машинного обучения. Эти алгоритмы способны обучаться на исторических данных, выявляя сложные зависимости и закономерности. Особое значение имеют методы глубокого обучения, которые показывают высокую эффективность при обработке изображений, звуков и других неструктурированных данных. Технологии промышленного интернета вещей (IIoT) создают инфраструктуру для сбора и передачи данных. Датчики, установленные на оборудовании, непрерывно передают информацию о его состоянии, которая затем анализируется системами ИИ. Это позволяет создавать комплексные решения для мониторинга и управления производственными процессами. Роботизированные системы, оснащенные алгоритмами ИИ, находят все более широкое применение в автоматизации производства. Современные промышленные роботы способны адаптироваться к изменяющимся условиям, выполнять сложные операции с высокой точностью и работать в collaboration с человеком.

Преимущества и вызовы внедрения

Внедрение искусственного интеллекта в промышленность приносит значительные преимущества. Прежде всего, это повышение точности прогнозов и планирования, что позволяет предприятиям более эффективно использовать ресурсы. Автоматизация рутинных операций высвобождает человеческие ресурсы для решения более сложных задач, одновременно снижая вероятность ошибок. Однако процесс внедрения сопряжен с рядом сложностей. Основной проблемой является необходимость сбора и обработки больших объемов качественных данных. Многие предприятия сталкиваются с трудностями при интеграции новых решений в существующую инфраструктуру. Кроме того, остро стоит вопрос подготовки квалифицированных кадров, способных работать с современными технологиями ИИ.

Описание функциональной схемы работы искусственного интеллекта

Функциональная схема системы описывает потоки данных и взаимодействие между модулями.

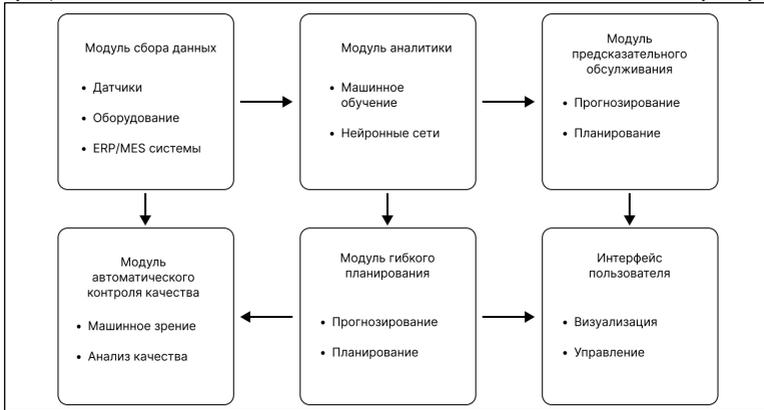


Рис. 1. Структурная схема взаимодействия модулей

Описание модулей:

1. Модуль сбора данных передает данные от датчиков, оборудования и корпоративных систем в Модуль аналитики.
2. Модуль аналитики обрабатывает данные с использованием алгоритмов машинного обучения и передает результаты в Модуль предсказательного обслуживания и Модуль автоматического контроля качества.
3. Модуль предсказательного обслуживания прогнозирует неисправности и планирует обслуживание, передавая данные в Интерфейс пользователя.
4. Интерфейс пользователя визуализирует обработанные данные, прогнозы и рекомендации для операторов, обеспечивая удобное управление системой и контроль производственных процессов.
5. Модуль автоматического контроля качества анализирует качество продукции и передает результаты в Интерфейс пользователя.
6. Модуль гибкого планирования оптимизирует производственные процессы и взаимодействует с Интерфейсом пользователя для визуализации и управления.

Система производственного интеллекта представляет собой набор взаимосвязанных модулей, которые обрабатывают данные на каждом этапе производственного цикла. Алгоритм основан на технологиях машинного обучения, анализа данных в реальном времени и оптимизации процессов. Его работа включает три ключевых направления: предсказательное обслуживание, автоматический контроль качества и гибкое планирование производства. Модуль предсказательного обслуживания отвечает за сбор и анализ данных с производственного оборудования с использованием сенсоров (вибрации, тем-

пературы, давления и т. д.). На основе алгоритмов машинного обучения система выявляет закономерности и прогнозирует потенциальные отказы оборудования. В случае обнаружения отклонений от нормальных параметров модуль выдает предупреждения, автоматически классифицирует возможные неисправности и предоставляет рекомендации по ремонту. Это минимизирует незапланированные простои и оптимизировать график обслуживания.

Пример работы реализует простую версию планирования на основе приоритетов заказов, доступности оборудования и ресурсов. Данные поступают из базы (или API) и обрабатываются алгоритмом планирования.



Рис. 2. Порядок работы системы производственного интеллекта

Заключение

Искусственный интеллект продолжает трансформировать промышленное производство, предлагая новые возможности для повышения эффективности и снижения затрат. Несмотря на существующие сложности внедрения, потенциал этих технологий трудно переоценить. Дальнейшее развитие ИИ в промышленности будет связано с совершенствованием алгоритмов, расширением возможностей автоматизации и созданием более интеллектуальных систем управления производством. Для успешной реализации проектов по внедрению ИИ предприятиям необходимо уделять внимание не только технологической составляющей, но и вопросам подготовки персонала, а также созданию необходимой инфраструктуры для работы с данными. Только комплексный подход позволит в полной мере реализовать потенциал искусственного интеллекта в промышленном секторе.

Список источников

1. Евсеев С. М. Обзор направлений интеллектуализации продукции и деятельности приборостроительного предприятия // *Инновации*. 2021. № 5. С. 35–42.
2. Искусственный интеллект и информационная безопасность общества: монография / А. В. Кузнецов, С. И. Самыгин, М. В. Радионов. М.: РУСАЙНС, 2024. 118 с.
3. Эртель В. Введение в искусственный интеллект / пер. с англ. А. Горман. М.: Эксмо, 2019. 448 с.
4. Уланов А. А., Уланов А. Ю. Оценка потенциала использования искусственного интеллекта в управлении организацией на примере транспортно-логистического холдинга // *Вестник Российского экономического университета имени Г. В. Плеханова*. 2023. Т. 20, № 3. С. 50–63.
5. Бруссард М. Искусственный интеллект: пределы возможного / пер. с англ. М.: Альпина нон-фикшн, 2020. 362 с. ISBN 978- 5-00139-080-0.

УДК 621.311.1

Е. А. Орлова

ассистент кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОДНОВРЕМЕННОСТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ**

Точно рассчитанные электрические нагрузки являются основным фактором для рационального проектирования, построения и эксплуатации систем электроснабжения. После качественного выбора электрических нагрузок определяют необходимое электрооборудование для системы электроснабжения, рассчитывают его вероятные потери мощности и электроэнергии. При проведении расчетов одним из важных параметров нагрузки является коэффициент одновременности.

Коэффициент одновременности – один из необходимых коэффициентов для качественного конструирования схемы системы электроснабжения. От его правильного выбора зависят надежность работы электрооборудования, капитальные и текущие затраты на систему электроснабжения, выбор оптимальной схемы сети для заданных нагрузок, а также качественное электроснабжение потребителей [1].

Коэффициент одновременности показывает возможность одновременной работы подобных потребителей в часы пиковой нагрузки, определяется отношением максимума суммарной нагрузки группы электроприемников, работающих параллельно, к сумме их номинальных мощностей за тот же период времени.

Он определяет, какое количество электроприемников от общей мощности может работать одновременно, сохраняя при этом высокое качество и надежность электроэнергии. Для примера возьмем группу электроприборов с суммарной мощностью 7000 Вт, и коэффициент одновременности, который равен 0.75. В результате расчетов получается, что максимальная мощность, которую можно использовать одновременно, будет равна 5250 Вт.

Коэффициент одновременности зависит от характера нагрузки потребителей, а также от количества приборов и их взаимодействия друг с другом [2]. Количество и мощность каждого из приборов может быть разным в зависимости от площади помещения, количества жильцов и потребностей, проживающих в ней людей. Коэффициент одновременности может быть выше, если есть группа приборов, которые чаще всего работают в разное время, например, чайник и обогреватель [3]. И наоборот, коэффициент одновременности может быть ниже, если все приборы работают одновременно и потребляют значительную мощность.

Если принять заниженный коэффициент одновременности, то завышенные расчеты токов и мощности приведут систему в недогруженный и неэкономичный режим работы [4]. При завышенном значении возможны перегрузки оборудования и сбои в электроснабжении, которые не могут обеспечить качественное и надежное электроснабжение потребителей. Коэффициент одновременности – это оценочное значение, которое учитывает тот факт, что в установке никогда не бывают одновременно включены все устройства на полную мощность. Это значение используется при расчете мощности потерь.

Коэффициент одновременности максимумов электрической мощности является важным показателем для определения максимальной потребности в электроэнергии в системе электроснабжения.

$$K_0 = \frac{P_p}{\sum_{i=1}^n P_{pi}}$$

где P_p – суммарный расчетный максимум активной мощности узла системы электроснабжения;

$\sum_{i=1}^n P_{pi}$ – сумма расчетных максимумов активных мощностей отдельных групп электроприемников, входящих в данный узел; n – количество групп электроприемников.

Этот коэффициент характеризует снижение общего максимума нагрузок узла по сравнению с суммой максимумов по отдельности, поскольку расчетная нагрузка узла всегда меньше суммы расчетных нагрузок групп электроприемников, питающихся от этого узла. Коэффициент одновременности может быть равен единице, но только в том случае, когда сумма всех нагрузок потребителей равна суммарному максимуму отдельных групп электроприемников [5, 6].

Коэффициент одновременности имеет разное значение величины в течение года, поскольку меняется максимум нагрузок освещения и отопления. В разных источниках информации можно встретить и другие названия данного коэффициента: коэффициент разновременности максимумов нагрузки, коэффициент максимума и другое. Его принято считать в декабре месяце, когда сезонные колебания нагрузки имеют высокие значения.

Коэффициент одновременности определяется как отношение максимальной суммарной мощности всех потребителей в системе к сумме максимальных мощностей каждого потребителя в отдельности. То есть, если суммарная максимальная мощность трех потребителей в системе электроснабжения составляет 120 кВт, а максимальная мощность каждой группы приемников в отдельности – 50 кВт, то коэффициент одновременности будет равен 0,8.

Чем меньше коэффициент одновременности, тем ниже вероятность того, что все потребители будут использовать электроэнергию одновременно, и в результате система будет работать на полную нагрузку. При этом сниженные значения коэффициента одновременности могут привести к экономии затрат на проектирование, реализацию и обслуживание системы электроснабжения.

Важно отметить, что этот коэффициент может иметь разные значения при изменении содержания потребителей в системе или при изменении их режима эксплуатации. При проектировании системы электроснабжения необходимо иметь в виду, что коэффициент одновременности может иметь разные числовые значения из-за неравномерного распределения нагрузок в течение года, поэтому следует предусматривать резервные мощности для обеспечения надежной работы электрооборудования и сети в целом.

Коэффициент одновременности обычно принимается равным 0,9–0,95, а при наличии некоторых показателей в системе электроснабжения общий коэффициент может быть снижен до 0,85, кроме тех случаев, когда низкое значение коэффициента одновременности является следствием самого технологического процесса производства.

Список источников

1. *Костюченко Л. П.* Электрические нагрузки сельскохозяйственных потребителей. URL: <http://www.kgau.ru/distance/2013/et2/007/sprav1-3.htm#pr11> (дата обращения: 12.03.2025).
2. *Конюхова Е. А.* Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. М.: Мастерство, 2002. 320 с.
3. *Абрамова Е. Я., Алешина С. К.* Расчет электрических нагрузок в городских электрических сетях: методические указания к дипломному проектированию. Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2002. 37 с.
4. *Ершов А. М.* Системы электроснабжения. Ч. 2: Электрические нагрузки. Компенсация реактивной мощности: курс лекций. Челябинск: ИЦ ЮУрГУ, 2018. 230 с.
5. *Федоров А. А., Каменева В. В.* Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1984. 472 с.
6. *Федоров А. А.* Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия, 1972. 416 с.

УДК 343.711.63

А. Р. Погор

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Кузьменко – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОКРУГА РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНЕ

Введение

В условиях современного мира энергетика является одной из ключевых отраслей экономики, определяющей уровень развития государства и его конкурентоспособность на международной арене. В связи с этим анализ энергетического сектора становится особенно актуальным для понимания текущего состояния и перспектив развития страны. Северо-Западный округ Российской Федерации (РФ) представляет собой один из наиболее значимых регионов в контексте национальной энергетической системы. Он обладает значительным потенциалом в области производства электроэнергии, а также играет важную роль в обеспечении энергетической безопасности страны. Однако, как и любой другой регион, Северо-Запад сталкивается с рядом проблем, которые нуждаются в детальном рассмотрении и поиске оптимальных решений.

Общая характеристика энергетического сектора Северо-Западного региона РФ

Объединенная энергетическая система Северо-Запада располагается на территории 10 субъектов Российской Федерации Северо-Западного Федерального округа: г. Санкт-Петербурга, Мурманской, Калининградской, Ленинградской, Новгородской, Псковской и Архангельской областей, республик Карелия и Коми, Ненецкого автономного округа. В ее состав входят восемь региональных энергетических систем: Архангельская, Калининградская, Карельская, Кольская (Мурманская), Ленинградская, Новгородская, Псковская и Республики Коми.

Электроэнергетический комплекс объединения образуют 144 электростанции суммарной установленной мощностью 25139,553 МВт (по данным на 01.01.2024). Из них на долю атомных электростанций приходится 6135,785 МВт (24,4 %), на долю гидроэлектростанций – 2974,438 МВт (11,8 %), на долю тепловых электростанций – 15821,88 МВт (63,0 %), ветровых электростанций – 207,45 МВт (0,8%). Основная электрическая сеть ОЭС Северо-Запада сформирована на базе 1627 линий электропередачи в габаритах класса напряжения 750-110 кВ. Общая протяженность линий электропередачи составляет 48277,7 км в одноцепном исполнении (по данным на 01.01.2024) [1].

Исходя из статистики АО «СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕЭС», около 79,1% суммарной выработки ОЭС Северо-Запада приходится на атомные и тепловые станции. Доля выработки электроэнергии ОЭС Северо-Запада по отношению к ЕЭС России составляет 10,4% [2]. Неблагоприятные климатические условия региона обуславливают необходимость большей части года работать по теплофикационному графику. К еще одной особенности, осложняющей управление режимом ОЭС, относится топология электрической сети, которая характеризуется протяженными транзитами 220-330 кВ.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики (Росстат) за период с 2018 по 2022 год потребление электроэнергии увеличилось с 45 млрд кВт·ч до 49 млрд кВт·ч, что соответствует среднегодовому приросту около 2% [3]. Рост энергопотребления в Северо-Западном регионе России за последние годы демонстрирует устойчивую тенденцию к увеличению спроса на электроэнергию (рис. 1) [4]. Это обусловлено рядом факторов, таких как развитие промышленности, расширение жилого фонда, модернизация инфраструктуры и внедрение энергоемких технологий, включая цифровизацию и создание центров обработки данных.

Однако растущее энергопотребление ставит перед регионом серьезные экологические, экономические и энергетические проблемы. Традиционные источники энергии, такие как уголь и газ, не только ограничены в своих запасах, но и являются основными источниками выбросов парниковых газов, которые способствуют изменению климата и загрязнению атмосферы.



Рис. 1. Динамика потребления электроэнергии в Ленинградской, Архангельской областях и Карелии

Например, одна угольная электростанция мощностью 1 ГВт ежегодно производит около 4–6 млн тонн CO_2 и других загрязняющих веществ, таких как оксиды азота (NOx), летучие органические соединения (ЛОС) и твердые частицы (ТЧ). В совокупности они могут вызывать проблемы с дыханием у людей и наносить вред окружающей среде, способствовать глобальному потеплению и изменению климата. Помимо вредоносных выбросов, существует риск разрушения ландшафтов в процессе добычи полезных ископаемых или строительстве ГЭС [5]. Ядерное топливо при всех своих преимуществах так же обладает массой недостатков в виде радиоактивных отходов, требующих безопасного хранения на протяжении долгих лет и радиационное загрязнение окружающей среды при ЧС. В связи с этим, внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ) становится стратегически важным направлением для обеспечения устойчивого развития региона.

Внедрение и реализация ВИЭ в СЗФО

За последние пять лет структура производства электроэнергии в России и Северо-Западном федеральном округе (СЗФО) претерпела значительные изменения. Атомная энергетика продолжает играть ключевую роль, доля тепловой энергетике постепенно снижается, а ветровая энергетика демонстрирует стремительный рост (табл. 1). Доля ВИЭ в структуре производства электроэнергии в СЗФО в последнее время значительно увеличилась (табл. 2) [6]. По данным Министерства энергетики РФ, к 2022 году установленная мощность ВИЭ в регионе составила около 2,5 ГВт, что составляет около 5% от общего объема производства электроэнергии в регионе [7].

Таблица 1

Динамика изменения состава энергетике в РФ

Тип энергетике	2018 (%)	2022 (%)	Изменение (%)
Атомная энергия	20	19	-1
Тепловая энергия	63	60	-3
Ветровая энергия	0,1	1,2	1,1
Солнечная энергия	0,2	1	0,8
Биоэнергетике	1,5	1,4	-0,1

Динамика изменения состава энергетики в СЗФО

Тип энергетики	2018 (%)	2022 (%)	Изменение (%)
Атомная энергия	45	42	-3
Тепловая энергия	48	45	-3
Ветровая энергия	2	7	5
Солнечная энергия	1	3	2
Биоэнергетика	4	3	-1

Такая положительная динамика обусловлена реализацией довольно крупных проектов, таких как запуск ветропарка «Лодейнопольский» (150 МВт), ветряной электростанции «Кемская» (100 МВт), ввод в эксплуатацию ВЭС «Кольская» в 2022 году (170,4 МВт) и ее модернизация в 2023 году (суммарная мощность 202,35 МВт), ввод в эксплуатацию Зеленоградской ВЭС (0,6 МВт) в Калининградской области. Также планируется строительство ветропарка «Мурманский» (50 МВт), что еще больше укрепит позиции ветроэнергетики в регионе [7].

На сегодняшний день основной состав объектов ВИЭ-генерации в регионе представлен на рис. 2.

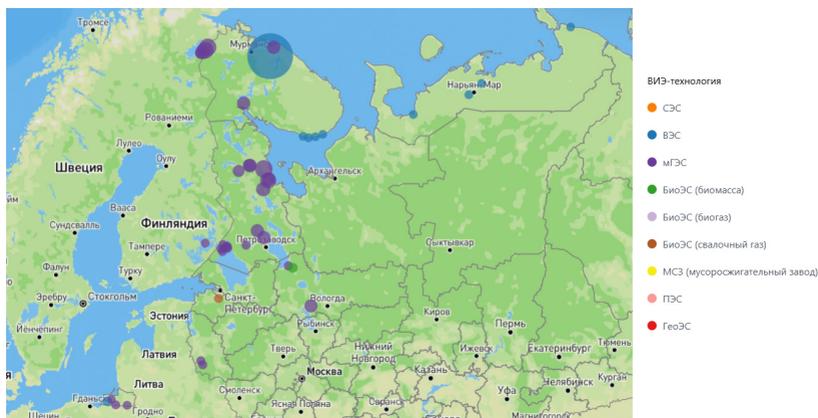


Рис. 2. Карта расположения объектов ВИЭ-генерации СЗФО [8]

На карте указаны функционирующие объекты ВИЭ-генерации СЗФО [8]. Опираясь на данную информацию, можно сделать вывод о том, что наиболее распространенной отраслью ВИЭ является гидроэнергетика, это объясняется развитой водной экосистемой региона. Также довольно сильно распространена ветроэнергетика, так как Северо-Западный регион России обладает необходимыми условиями для использования ветряных электростанций (ВЭС) различной мощности. На рис. 3 изображена карта ветрового потенциала РФ с приведенными среднегодовыми значениями ветров.

Северо-Западный федеральный округ России обладает значительным потенциалом для развития ветроэнергетики благодаря высоким скоростям ветра и открытому рельефу. Однако не все регионы одинаково подходят для строительства ветропарков. Рассмотрим территории СЗФО, которые являются наиболее перспективными для развития ветроэнергетики исходя из высоких значений среднегодовых скоростей ветров. На территории Карелии преобладают высокие среднегодовые скорости ветра, достигающие 5–8 м/с, особенно в северных районах (Кемский район, Беломорский район). Преобладание открытых ландшафтов и озер способствует стабильному ветровому потоку (рис. 4). Также наличие крупных акваторий (Ладожское озеро) создает благоприятные условия для установки ветряных электростанций.



Рис. 3. Карта ветрового потенциала Российской Федерации

В 2020 году в регионе была запущена ветряная электростанция «Кемская» (мощность 100 МВт), которая вырабатывает около 300 млн кВт·ч электроэнергии в год. В будущем планируется расширение мощностей за счет новых объектов в Кемском и Пряжинском районах.

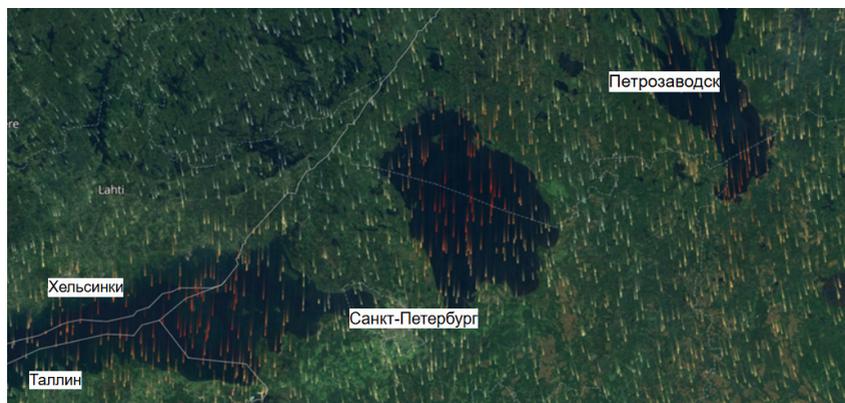


Рис. 4. Активная карта ветров Ленинградской области и Карелии над акваториями Финского залива и Ладожского озера [9]

В Ленинградской области преобладают высокие среднегодовые скорости ветра на побережье Финского залива (5–7 м/с) (рис. 5).

Открытые равнинные территории подходят для строительства наземных ветропарков. Существует возможность развития и использования морской ветроэнергетики в будущем. На данный момент функционирует ветряная электростанция «Лодейнопольская» (мощность 150 МВт): запущена в 2021 году, вырабатывает около 500 млн кВт·ч электроэнергии в год. Также планируется строительство но-

вых объектов в Лодейнопольском и Тихвинском районах, строительство ветропарка «ВЭС Дамба» (125 МВт). Однако существуют разного рода проблемы: конкуренция за землю из-за активного развития промышленности и жилищного строительства, необходимость модернизации энергосетей для подключения новых ветропарков.

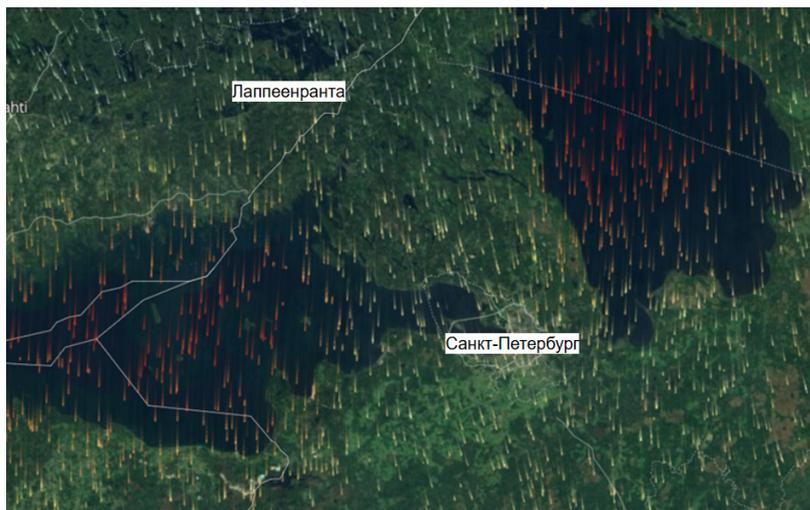


Рис. 5. Активная карта ветров Ленинградской области [9]

В Архангельской области высокая среднегодовая скорость ветра – более 5 м/с (рис. 6).



Рис. 6. Активная карта ветров Архангельской области [9]

Обширные открытые территории подходят для размещения ветропарков различного масштаба. Благодаря непосредственной близости к морю есть возможность использования морской ветроэнергетики в перспективе. В регионе планируется строительство нескольких ветряных электростанций в прибрежных районах (Приморский, Коношский районы).

Мурманская область демонстрирует значительный потенциал для развития ветроэнергетики, который уже начал реализовываться в рамках таких проектов, как ветропарк «Кольская ВЭС» (202 МВт) – крупнейшей в мире ветряной электростанции за полярным кругом. В будущем регион имеет возможность стать одним из лидеров в развитии как наземной, так и морской ветроэнергетики в России. Мурманская область – одна из самых ветреных областей России с высокими среднегодовыми скоростями ветра (7–9 м/с) (рис. 7).

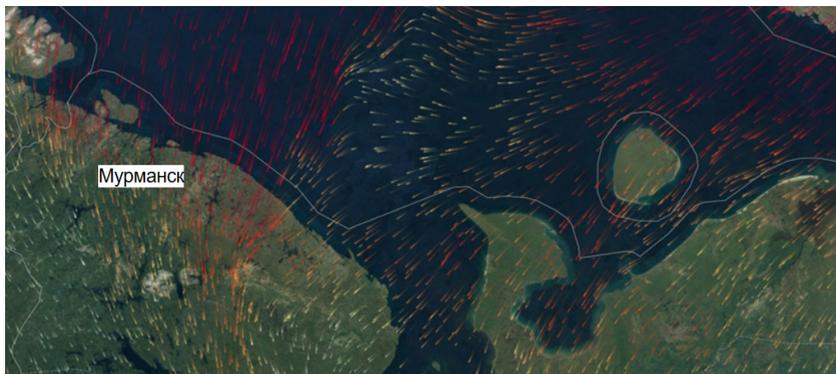


Рис. 7. Активная карта ветров Мурманской области [9]

Ненецкий автономный округ (НАО) является одним из самых перспективных регионов для развития ветроэнергетики благодаря высокой скорости ветра (8–10 м/с), особенно в зимний период (рис. 8) и удаленному расположению, где традиционные источники энергии часто дороги и сложны в доставке.

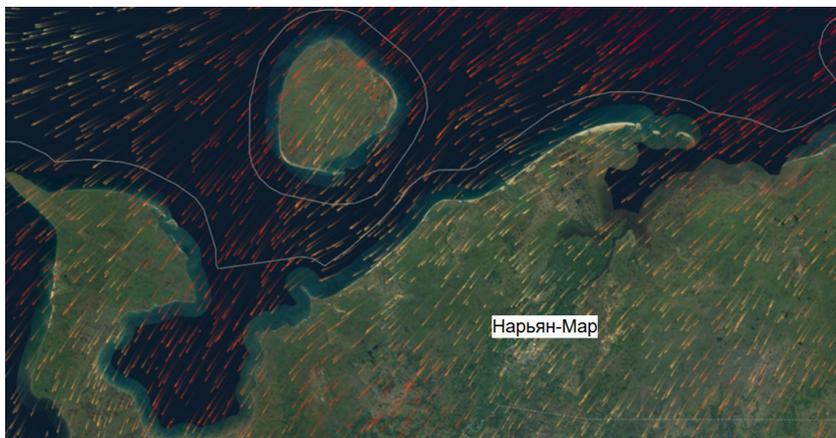


Рис. 8. Активная карта ветров НАО [9]

Регион активно внедряет проекты по ветроэнергетике, чтобы обеспечить электроэнергией отдаленные населенные пункты и снизить зависимость от дизельного топлива. На данный момент в НАО реализовано несколько пилотных проектов малых ветропарков: ветроустановки в поселке Искателей на побережье Баренцева моря (300 кВт) запущены в 2021 году и в Нарьян-Мар (500 кВт).

Для определения региона, наиболее подходящего для развития ветроэнергетики был произведен сравнительный анализ вышеописанных субъектов СЗФО РФ по следующим критериям: скорость и стабильность ветров, наличие территорий для размещения ветропарков, инфраструктурная доступность, экономическая эффективность и целесообразность, перспективы развития морской ветроэнергетики. Для наглядности характеристики сравниваемых субъектов представлены в виде табл. 3.

Таблица 3

Сравнительный анализ пригодности регионов СЗФО для ветроэнергетики

Регион	Скорость ветра м/с	Инфраструктурная доступность	Перспективы морской ветроэнергетики	Экономическая эффективность
Мурманская область	7-9	Средняя	Высокие	Высокая
Республика Карелия	6-8	Высокая	Низкие	Высокая
Ленинградская область	5-7	Высокая	Средние	Высокая
Архангельская область	6-8	Средняя	Высокие	Высокая
Ненецкий АО	8-10	Низкая	Высокие	Высокая
Калининградская область	6-8	Высокая	Высокие	Высокая

Опираясь на информацию, представленную в табл. 3, а также на вышеупомянутые критерии, наиболее подходящим регионом для развития ветроэнергетики является Мурманская область, так как на ее территории преобладают ветра со среднегодовой скоростью 7–9 м/с, что является одним из самых высоких показателей среди всех регионов СЗФО. Ветер в регионе отличается высокой стабильностью, что обеспечивает непрерывное производство электроэнергии, а побережье и акватория Баренцева моря создает уникальные условия для строительства морских ветропарков. Экономическая эффективность при развитии альтернативной энергетики в этом регионе обусловлена снижением затрат на производство электроэнергии при замене традиционных источников энергии на возобновляемые, пример тому – Кольская ВЭС, которая стала символом успешного внедрения возобновляемых источников энергии в регионе и создала основу для дальнейшего развития ветроэнергетики в Мурманской области.

Несмотря на то, что Ненецкий автономный округ обладает самой высокой скоростью ветра (8–10 м/с), экстремальные климатические условия и отсутствие развитой инфраструктуры, на данный момент, серьезно усложняют реализацию проектов. Ленинградская и Калининградская области обладают высоким потенциалом, однако возможности зачастую ограничены конкуренцией за землю, ее высокой стоимостью, непосредственной близостью к жилым районам и строениям.

Таким образом, Мурманская область является самым перспективным регионом для развития ветроэнергетики в СЗФО благодаря сочетанию высокой среднегодовой скорости и стабильности ветров, наличию возможностей для развития как наземной, так и морской ветроэнергетики.

Помимо ветроэнергетики следует рассмотреть возможность использования солнечной энергии в регионе при помощи карты инсоляции РФ (рис. 9), которая демонстрирует продолжительность солнечного излучения в течение года.



Рис. 9. Карта инсоляции РФ

Исходя из данных карты инсоляции, можно сделать вывод о том, что СЗФО наименее пригодный регион для развития солнечной энергетики, так как продолжительность солнечного сияния на протяжении всего северного побережья РФ самая низкая среди других регионов страны. Соответственно, при исследовании этих карт, было определено, что климатические и природные условия СЗФО РФ в большей степени способствуют развитию ветряной и гидроэнергетики, что было отображено на рис. 2. Соответствующий вывод также можно сделать, опираясь на статистику объема выработки электроэнергии ВИЭ в СЗФО (рис. 10) [10].

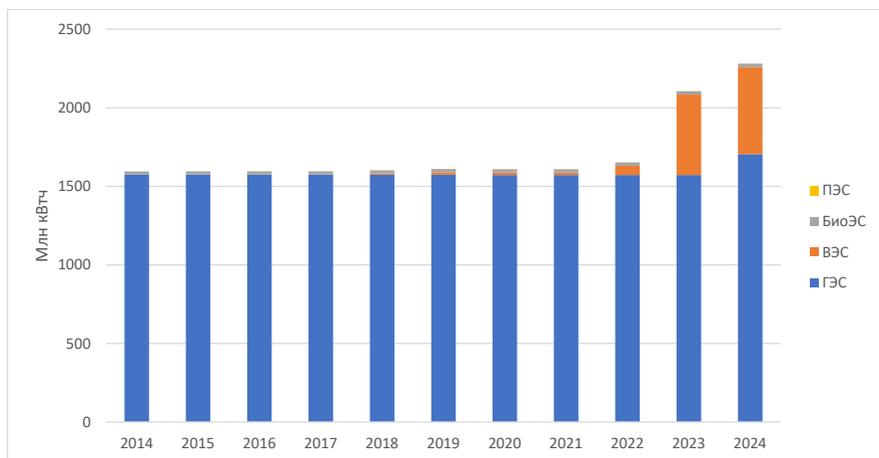


Рис. 10. Динамика выработки энергии объектами ВИЭ-генерации в СЗФО

На гистограмме представлена динамика объема выработки электроэнергии в СЗФО на объектах ВИЭ. Начиная с 2023 года заметно резкое увеличение объемов генерации энергии. Причем, относительно прошлого десятилетия значительно возросла доля ВЭС, когда объемы выработки при помощи остальных видов генерации остались примерно на том же уровне.

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Прогнозы

По прогнозам Министерства энергетики РФ, к 2030 году в СЗФО планируется нарастить объем выработки электроэнергии больше, чем в 2 раза по сравнению с 2022 годом (табл. 4) [11].

Таблица 4

Объем выработки электроэнергии из ВИЭ в СЗФО (2022–2030)

Год	Ветровая энергия, млрд кВтч	Солнечная энергетика, млрд кВтч	Биоэнергетика, млрд кВтч
2022	4,5	1,5	3
2025	7	2,5	3,5
2030	12	4	4,5

Помимо того, существует тенденция к снижению доли традиционной энергетики в структуре производства, наблюдается существенный прирост доли ВИЭ в регионе (табл. 5) [12].

Таблица 5

Доля ВИЭ в структуре производства электроэнергии СЗФО (2022–2030)

Год	Атомная энергия (%)	Тепловая энергии (%)	Ветровая энергия (%)	Солнечная энергия (%)	Биоэнергетика (%)	ВИЭ (%)
2022	42	45	7	3	3	13
2025	40	42	10	5	4	19
2030	38	39	15	8	6	29

Установленная мощность ВИЭ в СЗФО по прогнозу АРВЭ вырастет с 2,5 ГВт в 2022 году до 9,5 ГВт в 2030 году, что соответствует среднегодовому росту более 20% (табл. 6) [13].

Таблица 6

Установленная мощность ВИЭ в СЗФО (2022–2030)

Год	Ветровая энергетика, ГВт	Солнечная энергия, ГВт	Биоэнергетика, ГВт	Итого, ГВт
2022	1,2	0,5	0,8	2,5
2025	3	1,5	1	5,5
2030	5	3	1,5	9,5

В совокупности, развитие ВИЭ в регионе должно оказать положительное влияние на окружающую среду, сократив выбросы CO₂ в СЗФО (табл. 7) [14].

Таблица 7

Снижение выбросов CO₂ в СЗФО (2022–2030)

Год	Сокращение выбросов CO ₂ , млн т
2022	4,5
2025	8
2030	15

Заключение

Мурманская область демонстрирует исключительно высокий потенциал развития ветровой энергетики благодаря уникальному сочетанию природных условий и существующей инфраструктуры. Регион характеризуется высокими и стабильными среднегодовыми скоростями ветра (7–9 м/с), что значительно превышает средние показатели других субъектов Северо-Западного федерального округа (СЗФО). Уже реализованные проекты, в частности, «Кольская ВЭС» мощностью 202 МВт, подтверждают техническую реализуемость и экономическую эффективность ветроэнергетики даже в условиях Крайнего Севера. Это создает базис для дальнейшего развития как наземных, так и, особенно, морских ветроэнергетических проектов.

Основываясь на анализе, можно утверждать, что наибольшую значимость для Мурманской области представляет развитие морской ветроэнергетики. Побережье и акватория Баренцева моря предлагают не только высокие показатели ветрового потенциала, но и минимизируют конкуренцию за земельные ресурсы, характерную для густонаселенных регионов. Это позволяет прогнозировать возможность масштабного и экономически эффективного внедрения плавучих и стационарных морских ветроэнергетических платформ, что открывает совершенно новую перспективу для российского энергетического сектора. Однако для реализации этого потенциала необходимо решить несколько стратегически важных задач:

1. Создание специализированной портовой и сетевой инфраструктуры, которая позволит интегрировать новые ветропарки в существующую энергосистему и обеспечит условия для экспорта электроэнергии.

2. Разработка региональных механизмов поддержки и привлечения инвестиций для снижения финансовых и административных барьеров при реализации крупных энергетических проектов в условиях Арктики.

3. Внедрение передовых технологий хранения энергии и управления нагрузками, что позволит обеспечить стабильность энергоснабжения в условиях переменных ветровых нагрузок.

Список источников

1. ПАО «Россети Северо-Запад». URL: <https://ar2023rosseti-sz.ru/ru> (дата обращения: 12.03.2025).

2. АО «Системный оператор ЕЭС». URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/ees/oes-northwest> (дата обращения: 12.03.2025).

3. Федеральная служба государственной статистики «РОССТАТ». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения: 12.03.2025).

4. Ассоциация развития возобновляемой энергетики, статистика ВИЭ по регионам. URL: <https://rreda.ru> (дата обращения: 12.03.2025).

5. «Рынок Электротехники»: журнал-справочник, 2005–2024 URL: <https://marketelectro.ru/content/energetika-szfo> (дата обращения: 12.03.2025).

6. Федеральная служба государственной статистики «РОССТАТ». URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/11189> (дата обращения: 12.03.2025).

7. Министерство энергетики РФ. URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/main-characteristics-russian-electric-power-industry> (дата обращения: 12.03.2025).

8. Ассоциация развития возобновляемой энергетики, интерактивная карта ВИЭ-объектов. URL: <https://rreda.ru/industry/imap> (дата обращения: 12.03.2025).

9. Активная карта ветров. URL: <https://wind-map.gosur.com> (дата обращения: 12.03.2025).

10. Ассоциация развития возобновляемой энергетики, статистика ВИЭ. URL: <https://rreda.ru> (дата обращения: 12.03.2025).

11. Министерство энергетики РФ: «Прогноз развития энергетики РФ до 2035 года». URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/power-industry/main-characteristics-russian-electric-power-industry> (дата обращения: 12.03.2025).

12. Международное энергетическое агентство, Отчет о развитии ВИЭ в регионах. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 12.03.2025).

13. Ассоциация развития возобновляемой энергетики, прогноз развития ВИЭ в РФ. URL: <https://rreda.ru> (дата обращения: 12.03.2025).
14. Международное энергетическое агентство, отчет о выбросах CO₂. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 12.03.2025).

УДК 621.3

В. П. Рождественский

ученик 9-го класса школы № 693

Н. Д. Сологубов – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ**

В наше время стремительно развиваются технологии, связанные с электричеством, к примеру: автомобили переходят на работу от батарей, энергия вырабатывается при помощи возобновляемых источников, которые не выделяют в атмосферы вредных газов, использование беспроводных зарядных устройств, которые позволяют уменьшить количество проводов и возможных соединений.

Беспроводная зарядка – это технология, заряжающая гаджеты без подключения кабелей к ним. Она основана на принципе электромагнитной индукции, который предполагает передачу энергии между двумя объектами через магнитное поле [1]. Этот способ зарядки часто применяется для телефонов и аксессуаров к ним, таких как наушники и умные часы.

Таблица 1

Преимущества и недостатки беспроводных зарядных устройств

Преимущества	Недостатки
Уменьшение количества проводов и возможных соединений	Скорость заряда медленнее, чем у проводных
Снижается риск короткого замыкания, из-за отсутствия токопроводящих жил	Гаджет, который заряжается, должен располагаться в определенном положении для более эффективной зарядки
Есть возможность зарядки различных устройств от одной зарядной станции	Несовместимо со старыми устройствами, в которых отсутствует функция беспроводной зарядки
Более эстетичный внешний вид	Высокая стоимость

Если вам доводилось использовать беспроводные зарядные устройства, то вы знаете, что на самом деле провода в них есть. Сама зарядная станция подключается через провод к розетке или через USB-разъем к компьютеру.

Первые беспроводные зарядные устройства появились на рынке не так давно, они были представлены в 2008 году [1]. Дальнейшее развитие можно разделить на несколько этапов:

- за год до выпуска первого мобильного, заряжаемого без подключения через кабель, в 2008 году был создан открытый консорциум, занявшийся вопросами разработки нормативной документации;
- в сентябре 2010 года один из ведущих специалистов упомянутого объединения Метью Броерсма представил первую версию спецификации. Согласно последней были сертифицированы первые модели для iPhone и Blackberry;
- в 2015 году мебельный бренд IKEA начал выпуск мебели со встроенными модулями [2].

Принцип работы

Для зарядки устройство требуется разместить на специальной платформе. О начале заряда сигнализирует индикатор на платформе или устройстве. Работа беспроводного зарядного устройства основана на принципе электромагнитной индукции. Этот принцип был открыт Майклом Фарадеем еще в 1831 году: изменяющееся во времени магнитное поле порождает вихревое электрическое поле. А именно, при изменении во времени магнитного потока (Φ), пронизывающего поверхность, ограниченную замкнутым неподвижным проводником, в этом проводнике индуцируется ЭДС (ϵ), равная по величине и противоположная по знаку скорости изменения этого потока [3].

Зарядная станция получает питание от сети и передает его на катушку, создающую электромагнитное поле. У заряжаемого устройства также есть катушка, которая улавливает это поле и преобразу-

ет его в электрическую энергию для зарядки аккумулятора, как показано на рис. 1. Для корректной работы катушки должны находиться в непосредственной близости друг к другу (рис. 2).

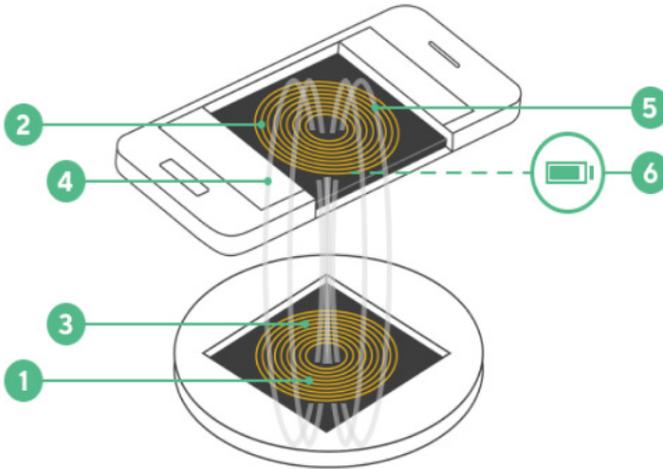


Рис. 1. Принцип работы беспроводной зарядки: 1 – катушка передатчика; 2 – катушка приемника; 3 – ток в катушке передатчика; 4 – электромагнитное поле; 5 – ток в катушке приемника; 6 – зарядка аккумулятора

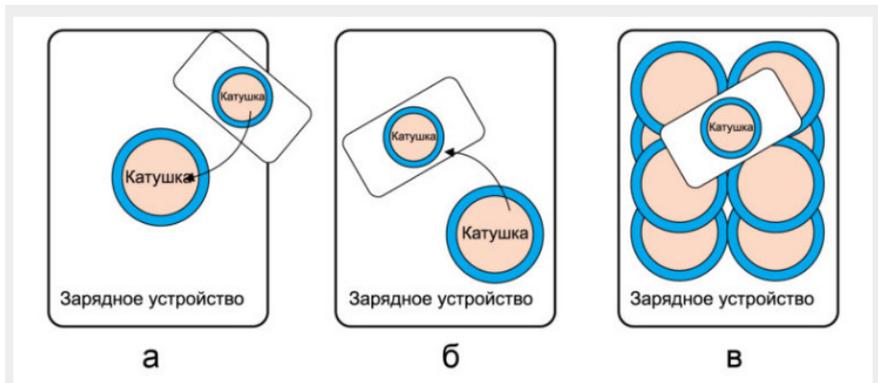


Рис. 2. Способы размещения платформы и устройства: а – направленное позиционирование (когда устройство выравнивается относительно катушки); б – свободное позиционирование (когда катушка выравнивается относительно устройства); в – свободное позиционирование (когда устройство принимает поле от нескольких катушек)

Стандарты беспроводной зарядки

Qi-технология – самый распространенный стандарт беспроводной зарядки, передающий энергию на расстоянии до 4 см. Его представили в 2008 году, а разработкой занималась организация «Консорциум беспроводной энергии». Минимальная возможная мощность зарядных устройств стандарта Qi составляет 5 Вт, но чаще всего встречаются модели мощностью до 15 Вт [4].

Зарядная станция и устройство могут передавать энергию и данные между собой. Эти данные могут использоваться для регулирования скорости заряда и отключения его при достижении полного уровня заряда.

MagSafe. Компания Apple усовершенствовала стандарт Qi. В данном случае применяются магниты, которые расположены на задней крышке смартфона и зарядной станции. Они помогают более точно расположить устройства между собой и контролировать положение в процессе зарядки, как показано на рис. 3.

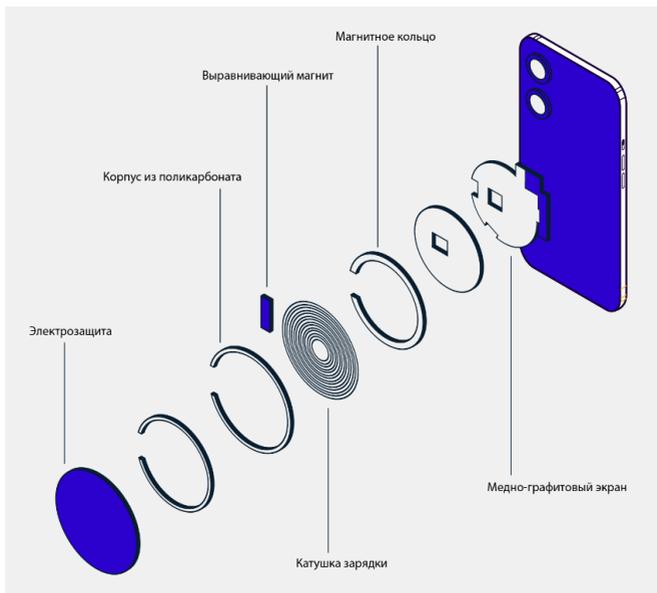


Рис. 3. Состав стандарта MagSafe

При помощи такой технологии к смартфону можно прикрепить кардхолдер или подставку. Другие производители предлагают крепление смартфона к приборной панели машины и одновременную зарядку.

PMА стандарт разработан организацией Power Matters Alliance. Его отличием является повышенная частота тока от 277 до 357 кГц вместо 205 кГц.

Rezence – стандарт, разработанный инженерами Alliance for Wireless Power (A4WP) [4]. Его особенность в том, что он основан на электромагнитном резонансе, что позволяет повысить мощность и расширить зону передачи энергии. Это дает возможность одновременно заряжать нескольких устройств. Этот стандарт зарядки нашел применение в автомобильной отрасли. Компания Qualcomm разработала технологию Halo WEVC. В ней катушка-приемник устанавливается в электромобиль, а катушка-передатчик под асфальтовым покрытием на парковке.

Скорость заряда можно повысить при помощи увеличения мощности, но основная проблема лежит в нагреве станции и устройств при зарядке. Перегрев уменьшает срок службы и увеличивает риск возгорания. Можно увеличить площадь магнитного поля, но тесты показали, что оно может влиять на другие устройства, к примеру, отключать кардиостимуляторы.

В наше время беспроводные станции становятся все популярнее. Они уменьшают количество проводов и универсальны при использовании. Беспроводные зарядные устройства не превышают мощности в 15 Вт, так как могут перегреваться, и необходимо точное позиционирование. Современные технологии направлены на увеличение скорости, дистанции и безопасности заряжаемых устройств.

Список источников

1. Как работает беспроводная зарядка и надо ли ей пользоваться. URL: <https://fumiko.ru/blog/gaydy/kak-rabotaet-besprovodnaya-zaryadka-i-nado-li-ey-polzovatsya/> (дата обращения: 10.03.2025).
2. Как работает беспроводная зарядка? URL: <https://baseus-shop.by/blog/kak-rabotaet-besprovodnaya-zaryadka> (дата обращения: 11.03.2025).
3. Закон электромагнитной индукции. URL: https://www.kipis.ru/info/index.php?ELEMENT_ID=97933 (дата обращения: 11.03.2025).
4. Что такое беспроводная зарядка и как она работает. URL: <https://skillbox.ru/media/code/chto-takoe-besprovodnaya-zaryadka-i-kak-ona-rabotaet/> (дата обращения: 12.03.2025).

УДК 007.5

И. П. Северилов

ученик 10-го класса школы №507

И. В. Жуков – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

Агропромышленный комплекс (АПК) представляет собой одну из ключевых отраслей экономики, обеспечивающую продовольственную безопасность, создание рабочих мест и развитие сельских территорий. В последние десятилетия этот сектор сталкивается с рядом вызовов, таких как изменение климата, рост населения, необходимость повышения продуктивности и устойчивости производства. В условиях глобализации и стремительного технологического прогресса, внедрение роботизированных систем становится не просто актуальным, а необходимым шагом для обеспечения конкурентоспособности аграрного сектора.

Роботизация в агропромышленном комплексе охватывает широкий спектр технологий и решений, которые направлены на автоматизацию процессов, улучшение качества продукции и оптимизацию затрат. Современные технологии, такие как автоматизированные тракторы, беспилотные летательные аппараты (БПЛА) и системы мониторинга полей с использованием датчиков, становятся неотъемлемой частью современного сельского хозяйства. Эти инновации позволяют фермерам сократить время на выполнение рутинных задач, таких как посев, обработка и сбор урожая, а также сосредоточиться на более креативных аспектах работы, таких как планирование и управление ресурсами.

Внедрение роботизированных систем в АПК становится не только важным элементом современного сельского хозяйства, но и решает ряд социальных и экономических проблем. В условиях растущего спроса на продовольствие и ограниченных ресурсов, автоматизация процессов становится ключевым фактором, способствующим устойчивому развитию сельского хозяйства.

Роботизированные системы в АПК становятся не только важным элементом современного сельского хозяйства, но и определяют его будущее. АПК сталкивается с рядом вызовов, таких как старение рабочей силы, недостаток ресурсов и необходимость повышения производительности. Актуальность внедрения автоматизации и роботизации приобретает особое значение в контексте трансформации аграрного сектора.

Использование высоких технологий, таких как машины для автоматической обработки полей и роботизированные доильные системы, позволяет значительно повысить производительность труда. Например, современные доильные роботы могут обеспечивать автоматизированный процесс доения без необходимости участия человека, что сокращает затраты времени и увеличивает продуктивность молочных ферм [1]. При этом использование алгоритмов и различных датчиков дает возможность достичь высокой точности в выполнении задач, что положительно сказывается на качестве урожая и общей эффективности работы.

Несмотря на очевидные преимущества, уровень внедрения роботизированных систем в АПК в России остается низким. Исследования показывают, что только 4,1% организаций аграрного сектора использовали промышленные роботы и автоматизированные системы в 2020 году, что значительно уступает показателям других отраслей, например, обрабатывающей промышленности (17,2%) [2]. Это подчеркивает необходимость дальнейшего исследования и внедрения современных технологий для оптимизации процессов в сельском хозяйстве.

С точки зрения компенсации нехватки рабочей силы, значительно возрастает интерес к использованию роботизированных технологий. Снижение численности работников в сельском хозяйстве обусловлено несколькими факторами, включая миграцию населения в поисках лучших условий жизни и работы. В условиях таких изменений автоматизация оказывается тем средством, которое не только компенсирует потерю рабочей силы, но и позволяет сохранить конкурентоспособность агропромышленных предприятий [3].

В зарубежных странах, таких как США и Канада, опыт роботизации в агросекторе уже позволяет увеличить урожайность и сократить расходы на рабочую силу. Они активно используют автоматизацию для управления фермерскими операциями, включая мониторинг состояния посевов через дроны и

анализ данных с помощью машинного обучения. Это позволяет агрономам принимать более обоснованные решения по уходу за культурами [4].

Также, современные роботы используются для сбора урожая, мониторинга состояния растений, а также определения оптимальных условий для их роста. Системы машинного зрения и высокоточными датчиками обеспечивают возможность точного анализа состояния агрокультуры, что позволяет своевременно принимать меры для минимизации потерь и увеличения качества продукции [6].

Роботизированные системы активно внедряются в агропромышленные компании разных стран, однако в России эта трансформация еще находится на разных уровнях. Внедрение современных технологий в данную сферу постоянно поддерживается государственными программами и инициативами, направленными на развитие и модернизацию сельского хозяйства [7]. Это способствует не только повышению эффективности производства, но и формированию конкурентоспособной среды для аграриев.

В условиях растущего населения и стареющего контингента сельского населения многие сельхозпроизводители сталкиваются с проблемами привлечения молодежи в агросектор. Использование робототехники позволяет не только решить проблему недостатка рабочей силы, но и сделать работу в сельском хозяйстве более привлекательной для молодых специалистов, заинтересованных в применении современных технологий [6].

Таким образом, роботизация является многообещающим направлением, способствующим преобразованию агропромышленности. Совместно с другими инновационными технологиями, такими как интернет вещей (IoT) и большие данные, роботизированные системы открывают новые возможности для оптимизации процессов в сельском хозяйстве и повышения его общей устойчивости. Тенденции к интеграции таких технологий в аграрном секторе предвещают успешное будущее для сельского хозяйства, где производители смогут с минимальными затратами справляться с растущими требованиями потребителей и изменениями в окружающей среде [8].

Сельскохозяйственная автоматизация создает дополнительные возможности для повышения доходов за счет повышения рентабельности. Например, современные автоматизированные системы управления позволяют фермерам переключаться между различными видами возмуж в зависимости от текущих рыночных тенденций и их прибыльности [9]. Такой подход дает возможность эффективно управлять ресурсами и оптимизировать затраты, обеспечивая стабильный доход.

По прогнозам, до 2027 года рынок автоматизации в агропромышленном комплексе будет развиваться на уровне 11.3% в год, что говорит о высоком интересе к данным технологиям и их широкой применимости [10]. Это подчеркивает важность инвестиций в развитие технологий и их внедрение в повседневную практику, что в конечном счете содействует устойчивому развитию сельского хозяйства.

Другим важным аспектом автоматизации является увеличение энергетической эффективности. Новые технологии позволяют более интенсивно использовать производственные мощности, что отражается на снижении расходов на энергию и ресурсы в целом. В результате, сокращение эксплуатационных расходов и улучшение углеродного следа становятся реальностью. Это особенно актуально в условиях глобальных изменений климата, когда фермеры испытывают на себе давление со стороны как рынка, так и законодательства [11].

Применение цифровых технологий для управления процессами в агропромышленности также способствует улучшению экономической эффективности. В частности, внедрение высоких технологий для мониторинга и автоматизации системы управления позволяет повысить как качество, так и количество продукции. Рынок требует, чтобы компании были готовы к нестабильным условиям и тяготели к устойчивому развитию. Внедрение новых систем управления все чаще становится необходимостью, а не выбором [12]. Это подчеркивает важность постоянного обновления знаний и адаптации к новым реалиям для агропромышленных компаний.

Естественно, что внедрение таких технологий сопровождается определенными вызовами. Фермеры могут столкнуться с отсутствием достаточных знаний в области высоких технологий, а также возможными проблемами с интеграцией новых систем в существующие процессы. Однако, несмотря на это, правильный подход к автоматизации опыта показывает, что тактика, направленная на уменьшение затрат и повышение производительности, приносит значительные выгоды [11].

Сельское хозяйство в России в 2023 году становится приоритетной отраслью для внедрения искусственного интеллекта (ИИ). Прогнозы указывают на возможное увеличение валовой добавленной стоимости на 25% в растениеводстве и на 13% в животноводстве к 2025 году [14]. Ожидается значительный рост инвестиций в умные технологии, которые могут достичь \$15,3 млрд, причем до \$4 млрд будет выделено на разработки с использованием ИИ. Подобные изменения предполагают не только внедрение автоматизированных решений, но и радикальную трансформацию всего сектора, что требует создания новой инфраструктуры и подходов к управлению [13].

Цифровизация сельского хозяйства влечет за собой не просто механизацию, а необходимость переосмысления процессов на всех уровнях. В результате перехода к цифровым технологиям, традиционные методы управления становятся неэффективными. Поэтому перед аграриями стоит задача переобучения и адаптации к новым условиям. Это подразумевает не только использование новых знаний о технологиях, но и изменение подхода к бизнесу, где основной акцент будет сделан на данные и аналитические инструменты, позволяющие повышать урожайность и рентабельность [13].

Важно отметить, что нынешние высокие затраты на внедрение новых технологий создают значительный разрыв между более развитыми и менее развитыми регионами. Однако ожидается, что государственная поддержка и программы, такие как «Цифровая экономика Российской Федерации», будут способствовать увеличению доступности технологий и сокращению этого разрыва [12]. Такой подход мог бы обеспечить возможность для мелких и средних хозяйств извлекать выгоду от новых решений, способствуя таким образом интеграции в общую экономику.

Направления развития агрономии с применением современных технологий включают в себя использование дронов для мониторинга состояния посевов, автоматизацию процессов полива и внесения удобрений, а также применения роботизированных систем для уборки и обработки сельскохозяйственных культур. Все это создает необходимую базу для повышения продуктивности и снижения трудозатрат [14].

Важным аспектом является использование агротехнологий, которые помогают в сборе и анализе данных, что впоследствии позволяет принимать более обоснованные решения [12]. К примеру, системы анализа больших данных (Big Data) в сочетании с машинным обучением дают возможность более точно предсказывать урожай, а также оптимизировать процессы управления ресурсами. Внедрение таких решений позволит фермерским хозяйствам не только сократить затраты, но и получить дополнительные загрузки для улучшения экономического положения как отдельных субъектов сельского хозяйства, так и всей экономики страны в целом [14].

Важно понимать, что для успешного перехода к «умному» сельскому хозяйству потребуются комплексный подход, который будет включать не только технические средства, но и разработку образовательных программ для специалистов аграрного сектора [13].

В заключение, глобальные тренды в области агрономии и автоматизации создают новые условия для переработки моделей ведения сельского хозяйства. С учетом экономических и экологических факторов, роботизированные системы предоставляют необходимые инструменты для решения задач современного агросектора. Инвестиции в эти технологии будут не только обязательными, но и выгодными, что делает их приемлемыми для долгосрочного развития агропромышленного комплекса.

Роботизированные системы в агропромышленном комплексе представляют собой не просто модный тренд, а необходимый шаг к модернизации и оптимизации сельского хозяйства.

Современные технологии роботизации, такие как автоматизированные тракторы, БПЛА и системы мониторинга полей с использованием датчиков, становятся неотъемлемой частью аграрного производства.

Влияние роботизированных систем на производительность труда также нельзя недооценивать. Автоматизация процессов позволяет фермерам сосредоточиться на более креативных и стратегических аспектах работы, таких как планирование и развитие новых технологий. Это не только повышает общую эффективность работы, но и способствует созданию более устойчивых и конкурентоспособных агропредприятий.

Важно продолжать исследовать и развивать эти технологии, чтобы обеспечить будущее сельское хозяйство, способное соответствовать актуальным проблемам в этой области.

Список источников

1. Роботизация в сельском хозяйстве: новый шаг к устойчивому развитию отрасли. URL: <https://smartagro.ru/robotizatsiya-v-selskom-khozyaystve> (дата обращения: 07.03.2025).
2. Роботы в аграрной отрасли. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/39143-roboty-v-agrarnoy-otrasli-uroven-ispolzovaniya-novykh-tehnologiy-na-rossijskikh-selkhozpredpriyatiya/> (дата обращения: 07.03.2025).
3. *Ткаченко Р. В., Анников Д. Ю., Мироненко А. В.* Применение и значимость роботизированных систем в агропромышленном комплексе // Вестник науки. 2024. № 5. 74 с.
4. Робототехника в сельском хозяйстве: виды и применения. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/robototekhnika-v-selskom-khozyaystve-vidy-i-primeneniya> (дата обращения: 09.03.2025).
5. 12 революционных роботов в сельском хозяйстве. URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/12-revoljucionnyh-robotov-v-sel-skom-hozajstve> (дата обращения: 10.03.2025).
6. Роботизация в сельском хозяйстве. Будущее агропроизводства. URL: <https://habr.com/ru/companies/ruvds/articles/559448/> (дата обращения: 10.03.2025).
7. Использование роботов в сельском хозяйстве. URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/390/16414/> (дата обращения: 10.03.2025).
8. Аграрные системы автоматизации. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0b7e538d-9719-4fd5-83d8a83b5b9d6408/content/sofa-2022/agrifood-systems-transformation-automation.html> (дата обращения: 13.03.2025).
9. *Лебедев Г. А., Коровин Г. С., Федотов М. В.* Автоматизация тяговых машин в сельскохозяйственной отрасли: Экономические перспективы реализации // Вестник экономических и социологических исследований. 2024. №1. С. 42-49.
10. Автоматизация производства в сельском хозяйстве: методы и экономическая эффективность. URL: https://s-lib.com/issues/eiu_2024_02_v5_a4/ (дата обращения: 13.03.2025).
11. Автоматизация и цифровизация сельского хозяйства. URL: <https://unnat.fedcdo.ru/avtomatizaciya-i-cifrovizaciya-selskogo-hozyajstva-tehnologicheskie-aspekty-sovershenstvovaniya-effektivnosti-otrasli-na-materialah-rossijskoj-federacii> (дата обращения: 15.03.2025).
12. *Анищенко А. Н.* «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // Продовольственная политика и безопасность. 2019. №2. С. 97–106.
13. Цифровизация сельского хозяйства. URL: <https://skolkovo-resident.ru/tsifrovizatsiya-selskogo-khozyaystva/> (дата обращения: 15.03.2025).
14. Сельскохозяйственные технологии: инновации и эффективность. URL: <https://www.retail.ru/rbc/pressreleases/selskokhozyaystvennyie-tehnologii-innovatsii-i-effektivnost/> (дата обращения: 15.03.2025).

УДК 620.9

Д. А. Смагин

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Кузьменко – доцент, кандидат технических наук – научный руководитель**АНАЛИЗ СХЕМ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ****Введение**

Электроэнергия является жизненно важной составляющей функционирования любого современного промышленного предприятия. Зачастую, объекты исследования характеризуются сложной и разветвленной системой электроснабжения, включающие в себя многочисленные элементы, такие как трансформаторные подстанции, распределительные устройства, кабельные линии и потребители электроэнергии. Как при проектировании, так и в процессе эксплуатации функционирование такой системы требует постоянного контроля и анализа. Анализ схем системы электроснабжения представляет собой изучение ее архитектуры, что принципиально важно для оптимизации работы, выявления уязвимостей и разработки стратегии повышения надежности и экономической составляющей.

1. Виды схем электроснабжения

При проектировании системы электроснабжения промышленного предприятия производится выбор схемы электросети, которая обеспечит максимальную надежность питания электроприемников, в соответствии с их категорией, и высокие технико-экономические показатели. Схема электроснабжения подразделяется на внешнюю и внутреннюю. Внешняя схема отвечает за передачу электрической энергии от источника до распределительного пункта, а внутренняя от распределительного пункта до потребителей. Передача электрической энергии осуществляется по кабельным или воздушным линиям электропередач [1].



Рис. 1. Внешняя блок-схема электроснабжения с одним источником питания

Внешняя схема электроснабжения на промышленном предприятии может иметь исполнение как с одним трансформатором главной понижающей подстанцией (ГПП), так и с его резервом. Зачастую промышленные фирмы имеют электроприемники первой или второй категории, отказ которых подвергает опасности жизни людей, полного прекращения технологического процесса или непоправимого для него ущерба. По этой причине любое промышленное предприятие будет отдавать предпочтение более надежному и эффективному исполнению схемы внешнего электроснабжения, а именно с резервом. То есть, при возникновении аварийной ситуации или ремонта, с помощью автоматического ввода резерва (АВР), осуществляется переключение с первичного трансформатора ГПП на вторичный, который продолжает выполнять функцию преобразования напряжения. При устранении проблемы происходит обратное переключение [2].

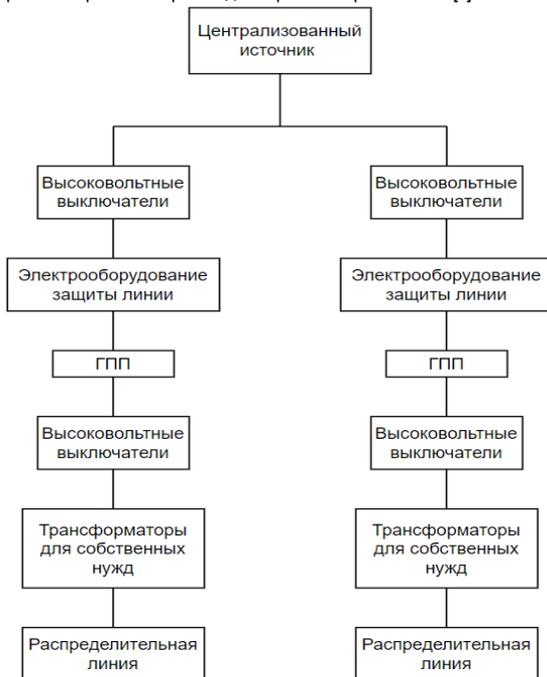


Рис. 2. Внешняя блок-схема электроснабжения с резервным источником питания

Схема внутреннего электроснабжения на промышленном предприятии, зачастую, подразделяется на два типа – радиальная и магистральная [2].

Радиальная схема распределения электроэнергии подразумевает питание каждого потребителя по отдельной независимой линии. То есть каждая линия, которая будет проведена напрямую от источника, работает исключительно с одним конечным потребителем. Применение радиальной схемы имеет смысл, когда потребители электроэнергии расположены в разных направлениях по отношению к источнику. При возникновении аварийных ситуаций или ремонтных работ на одной линии будет оказывать влияние только на режим работы потребителя, к которому она конкретно подключена [3].

Магистральная схема распределения электроэнергии предполагает питание потребителей от одной питающей линии. То есть каждый потребитель будет подключен к общей магистрали, которая напрямую выходит из источника. Применение магистральной схемы имеет смысл, когда потребители расположены близко друг к другу в одном направлении относительно источника. При возникновении аварийных ситуаций или ремонтных работ на магистрали будет оказывать влияние на ряд потребителей путем их вывода из строя [3].

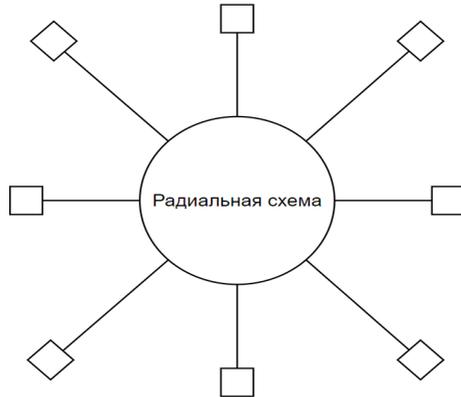


Рис. 3. Радиальная схема электроснабжения

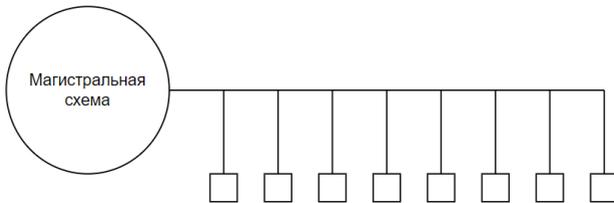


Рис. 4. Магистральная схема электроснабжения

2. Практическое применение схем электроснабжения

Для наглядности исполнения как внешней, так и внутренней схемы системы электроснабжения промышленного предприятия был взят судоремонтный завод. Питание осуществляется от подстанции энергосистемы с напряжением шин 110 и 35 кВ. Расстояние от подстанции до завода составляет 12 км [4]. В исходных данных предприятия прилагается ситуационный план и сведения о нагрузках цехов. Пример расчетов экономической составляющей каждой схемы основан на реальных данных.

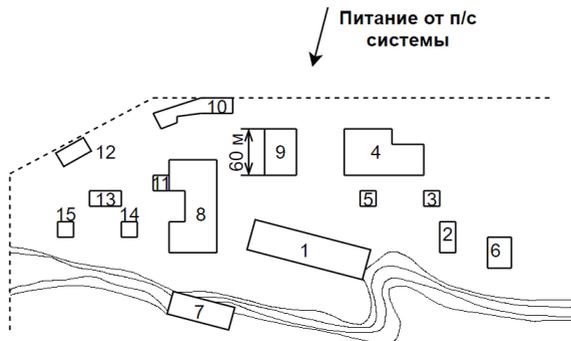


Рис. 5. Ситуационный план судоремонтного завода

Сведения о нагрузках цехов

№ п/п	Наименование объекта	Установленная мощность, кВт
1	Литейный цех	2000
2	Кузнечный цех	800
3	Главный корпус	1500
4	Корпусно-котельный цех	1700
5	Компрессорная (10 кВ)	2х800
6	Сухой док	1200
7	Плавающий док	1300
8	Механический док	900
9	Такелажно-парусный цех	500
10	Заводоуправление	100
11	Кислородная станция	800
12	Лесосушилка	500
13	Административный корпус	250
14	Сортировочный корпус	120
15	Склад	65

Из исходных данных наблюдается, что предприятие имеет 15 цехов, из которых 14 являются низковольтной и один высоковольтной нагрузкой (10 кВ). Принимается, что все цеха на судостроительном заводе имеют II категорию, что требует установки 2 трансформаторов на ГПП внешней схемы электроснабжения. Из этого можно сделать вывод, что цеховые ТП внутренней схемы электроснабжения будут иметь резерв.

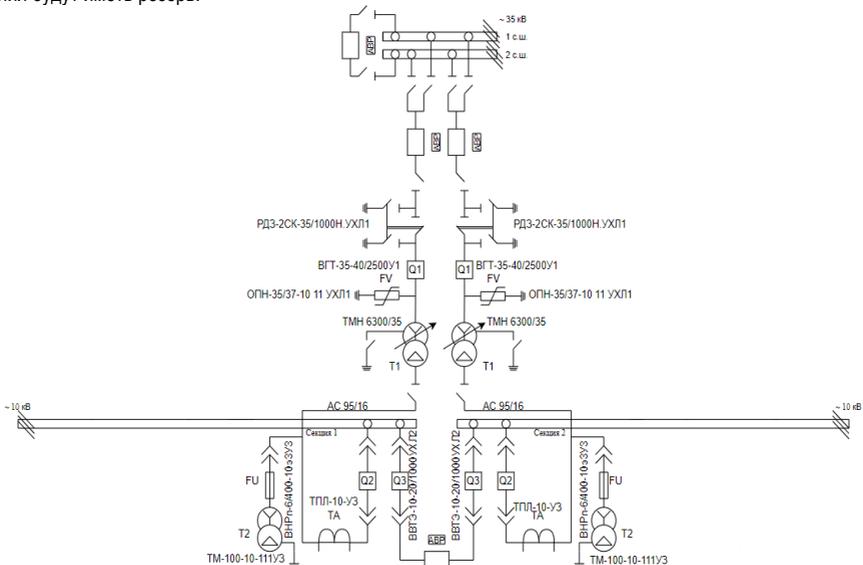


Рис. 6. Схема внешнего электроснабжения [5]

Схема внешнего электроснабжения включает в себя электрооборудование, представленное в табл. 2.

Таблица 2

Электрооборудование внешней системы электроснабжения

Электрооборудование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
АВР	4	456.000
Разъединители: РДЗ-2СК-35/1000Н.УХЛ1, привод: ПРГ-2Б-УХЛ1	2	270.000
Выключатели элегазовые (35 кВ): ВГТ-35-40/2500У1	2	3.000.000
Ограничители напряжения: ОПН-35/37-10 11 УХЛ1	2	60.000
Трансформатор: 35/10 кВ ТМН 6300/35	2	33.600.00
Трансформатор тока ТПЛ-10-УЗ	2	60.000
Трансформатор напряжения ТМ-100-10-111УЗ	2	60.000
Элегазовые вакуумные выключатели (10 кВ) ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2	2	2.500.00
Шины однополюсные алюминиевые 50х60	2	100.000
ЛЭП АС 95/16	2	7.320.000
Предохранитель: ВНРп-6/400-10эЗУЗ	2	90.000
Итого:		47.496.000

Итоговая цена оборудования, для возведения внешней сети электроснабжения, составила: 47,5 млн руб. При сравнении радиальной и магистральной схемы электроснабжения исполнение, оборудование и его количество, а также стоимость остаются неизменными [6].

На ситуационном плане промышленного предприятия показывается, что внутреннюю схему электроснабжения можно выполнить как в радиальном исполнении, так и в магистральном.

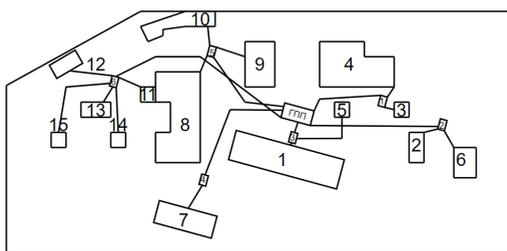


Рис. 7. Исполнение радиальной схемы на ситуационном плане

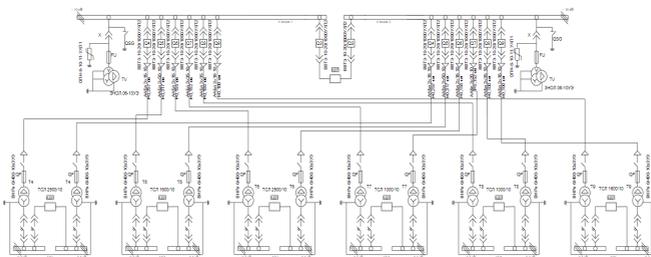


Рис. 8. Радиальная схема электроснабжения [5]

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

Схема внутреннего электроснабжения в радиальном исполнении включает в себя электрооборудование, представленное в табл. 3.

Таблица 3

Электрооборудование внутренней схемы электроснабжения в радиальном исполнении

Электрооборудование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
АВР	7	800.000
Элегазовый вакуумный выключатель: ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2	14	17.500.000
Кабель: ААБл 3х16-10	-	800.000
Кабель: ААБл 3х50-10	-	650.000
Кабель: ААБл 3х35-10	-	550.000
Ограничитель перенапряжения: ОПН-6-10 11-УХЛ1	2	100.000
Трансформатор: ЗНОЛ.06-10УЭ	2	30.000.000
Предохранитель: ВНРп-6/400-10зУЗ	14	560.000
Трансформатор: ТСЛ 2500/10	4	10.000.000
Трансформатор: ТСЛ 1600/10	4	7.200.00
Трансформатор: ТСЛ 1000/10	4	6.400.000
Итого:		74.560.00

Итоговая цена оборудования, для организации внутренней сети электроснабжения в радиальном исполнении, составила: 74,6 млн руб. [7].

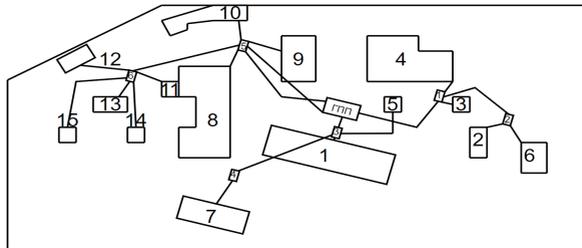


Рис. 9. Исполнение магистральной схемы на ситуационном плане

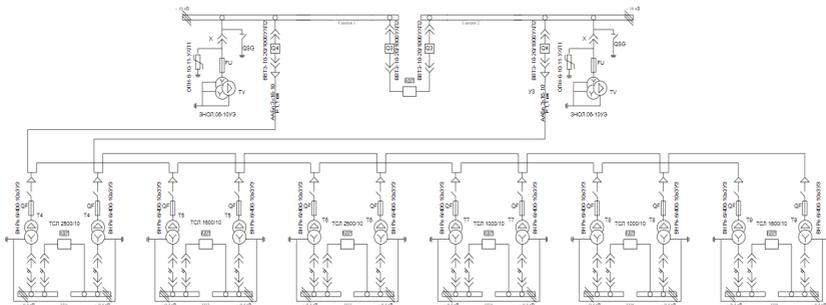


Рис. 10. Магистральная схема электроснабжения [5]

Схема внутреннего электроснабжения в магистральном исполнении включает в себя электрооборудование, представленное в табл. 4.

Таблица 4

Электрооборудование внутренней схемы электроснабжения в магистральном исполнении

Электрооборудование	Количество, шт.	Стоимость, руб.
АВР	7	800.000
Элегазовый вакуумный выключатель: ВВТЭ-10-20/1000УХЛ2	4	5.000.000
Кабель: ААБл 3х16-10	-	2.200.000
Ограничитель перенапряжения: ОПН-6-10 11-УХЛ1	2	100.000
Трансформатор: ЗНОЛ.06-10УЭ	2	30.000.000
Предохранитель: ВНРп-6/400-10зЗУ3	14	560.000
Трансформатор: ТСЛ 2500/10	4	10.000.000
Трансформатор: ТСЛ 1600/10	4	7.200.000
Трансформатор: ТСЛ 1000/10	4	6.400.000
Итого:		62.250.000

Итоговая цена оборудования, для организации внутренней сети электроснабжения в магистральном исполнении, составила: 62,3 млн руб. [7].

Общая стоимость организации системы электроснабжения составила: при радиальном исполнении – 122,1 млн руб., а при магистральном – 109,8 млн руб. Для наглядности были составлены кольцевые диаграммы с процентным содержанием стоимости входящего в схемы электрооборудования.

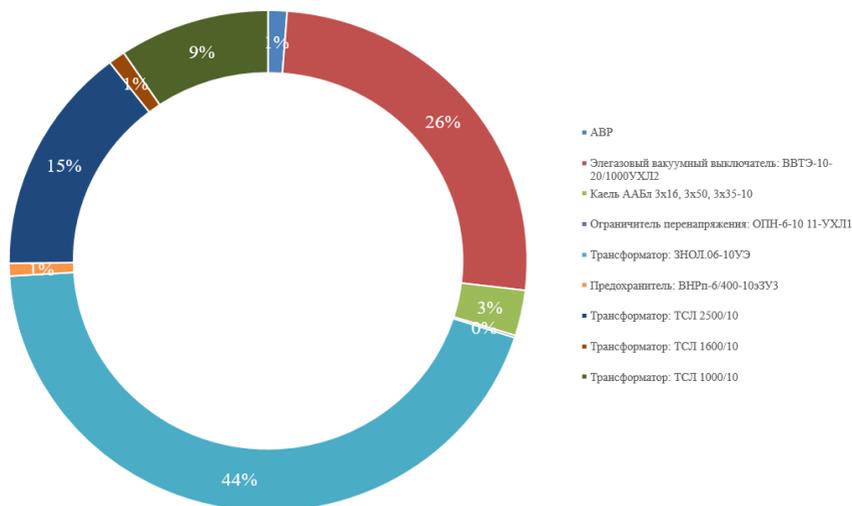


Рис. 11. Кольцевая диаграмма стоимости входящего электрооборудования для реализации радиальной схемы электроснабжения

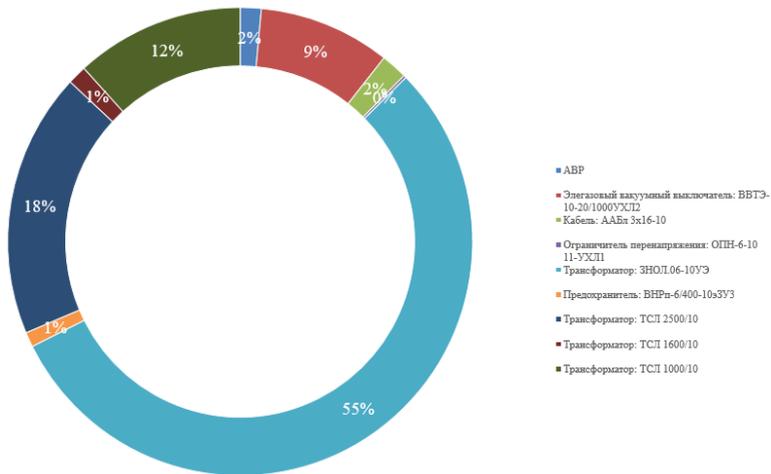


Рис. 12. Кольцевая диаграмма стоимости входящего электрооборудования для реализации магистральной схемы электроснабжения

Из составленных кольцевых диаграмм стоимости электрооборудования можно сделать вывод, что реализация магистральной схемы на судоремонтном заводе выгодно на 12,3 млн руб. за счет экономии 1 млн руб. на кабельных линиях и 11,3 млн руб. на элегазовых вакуумных выключателях.

При возникновении повреждений на линии в магистральном исполнении обесточиваются все потребители, питающиеся от магистрали путем автоматического срабатывания АВР. Во избежание отключения всех потребителей, система электроснабжения должна предусматривать резервную магистральную линию. Тогда, при выводе основной магистрали потребители будут снабжаться электрической энергией от резервной линии. При устранении неполадок производится обратное переключение на основную линию снабжения. При появлении подобных ситуаций, радиальная схема электроснабжения осуществит отключение только одной конкретной линии без воздействия на других потребителей. Резервирование осуществляется как магистральной схеме [8].

Исходя из выше описанного можно сделать вывод, что система электроснабжения промышленного предприятия, в данном случае судоремонтного завода, в радиальном исполнении обеспечивает ее максимальную надежность работы, путем отключения конкретной линии без воздействия на другие потребители, в отличие от магистральной.

В конечном итоге, система электроснабжения судоремонтного завода имеет внешнюю схему, выполненную с резервированием трансформатора на ГПП, и внутреннюю схему в радиальном исполнении, которая характеризуется максимальной надежностью, но большими издержками, в виде затрат на кабельные линии и элегазовые вакуумные выключатели.

3. Преимущества и недостатки схем электроснабжения

Преимущества и недостатки обоснованы на примере ранее рассмотренного судоремонтного завода.

Радиальная схема электроснабжения:

1. Надежность. Питание каждого потребителя производится по отдельной независимой линии. В случае обрыва или повреждения линии, остальные потребители остаются подключенными и работают в нормальном режиме. Это критически важно для объектов, где отключение электроэнергии недопустимо. При обрыве линии электропередач, соединяющей ГПП и ТП2, влияние на другие ТП не производится, и они продолжают работу в нормальном режиме.

Радиальная схема электроснабжения		Магистральная схема электроснабжения	
Преимущества	Недостатки	Преимущества	Недостатки
Надёжность	Высокая стоимость	Экономичность	Зависимость от магистралей
Простота в эксплуатации	Габаритность	Гибкость	Балансировка нагрузки
Минимальные потери энергии		Компактность	

Рис. 13. Преимущества и недостатки радиальной и магистральной схемы электроснабжения

2. Простота в эксплуатации. Как было сказано ранее, каждый потребитель питается по отдельной линии. При возникновении аварийных ситуаций или ремонтных работ на одной линии будет оказывать влияние только на режим работы потребителя, к которому она конкретно подключена, что упрощает задачу нахождения неисправности и быстрому вводу в эксплуатацию. Замена линии электропередач, обесточивание и вывод из эксплуатации осуществляется по отдельной линии, соединяющую ГПП и любую ТП без влияния на другие.

3. Минимальные потери энергии. Каждая линия предназначена для одного потребителя, что снижает общие потери на передачу. В отличие от магистральной схемы, где электроэнергия передается по одной магистрали, от которой последовательно питаются все потребители [9]. Передача энергии при радиальной схеме от ГПП до ТП6 осуществляется по отдельной линии длиной 0,1 км, при этом в магистральной схеме расстояние магистральной линии составляет 1,1 км, что говорит о увеличении потерь в магистрали.

4. Высокая стоимость. Для каждого потребителя прокладывается отдельная линия, что требует больше материалов (кабеля, изоляции) и работы. Как было разобрано на примере судоремонтного завода, большая часть средств ушла на элегазовые вакуумные выключатели и кабельные линии, а именно 12,3 млн. руб.

5. Габаритность. Для каждого потребителя прокладывается отдельная линия от центрального источника питания, что может создать проблемы с размещением, особенно в ограниченном пространстве [9]. Элегазовые вакуумные выключатели, в количестве 14 шт., и кабельных линий, протягиваемые от ГПП до каждой ТП, занимают дополнительное пространство, по сравнению с магистральной схемой, где количество выключателей составляет 2 шт. и две параллельные магистральные линии.

Магистральная схема электроснабжения:

1. Экономичность. Позволяет существенно сократить затраты на монтаж и эксплуатацию системы. Вместо того чтобы прокладывать отдельные линии для каждого потребителя, используется одна магистраль, от которой питаются все объекты. Это приводит к снижению затрат на материалы: меньше кабелей, соединительных узлов, опор для линий электропередачи. Как было разобрано на примере судоремонтного завода, магистральная схема оказалась экономичнее радиальной на 12,3 млн руб., за счет уменьшения элегазовых вакуумных выключателей и кабельных линий.

2. Гибкость. Ее легко модернизировать. При необходимости можно подключить новых потребителей, что особенно важно для развивающихся промышленных объектов. При магистральном исполнении питание происходит от общей линии, ввод или вывод ТП в процессе эксплуатации не составляет сложности, главное соблюдать баланс мощности при передаче энергии.

3. Компактность. В ней минимизировано количество кабельных линий передачи при одновременном обеспечении электроэнергией большого количества объектов. Как было сказано ранее, что вместо того, чтобы прокладывать отдельные линии для каждого потребителя, используется одна магистраль, от которой питаются все объекты. Элегазовые вакуумные выключатели, в количестве 14 шт., и кабельных линий, протягиваемые от ГПП до каждой ТП, при радиальной схеме занимают дополнительное

пространство, по сравнению с магистральной, где количество выключателей составляет 2 шт. и две параллельные магистральные линии.

4. Зависимость от магистрали. При возникновении повреждений на линии в магистральном исполнении обесточиваются все потребители, питающиеся от магистрали путем автоматического срабатывания АВР. Во избежание отключения всех потребителей, система электроснабжения должна предусматривать резервную магистральную линию. Тогда, при выводе основной магистрали потребители будут снабжаться электрической энергией от резервной линии. При обрыве линии электропередач, соединяющей ГПП и ТП1, влияние на другие ТП будет оказано, путем полного отключения и перевода системы на вторичную параллельную магистраль.

5. Сложность балансировки нагрузки. При подключении или вывода количества потребителей на магистрали может возникнуть дисбаланс нагрузки, который приводит к перегрузке отдельных участков системы [9]. Следовательно, при отключении ТП4 из магистрали образуется лишняя электроэнергия в размере 1300 кВт, которая ляжет на остальные ТП. Это потребует либо подключение ТП с подобной мощностью, либо замены всей магистрали, что является дорогостоящим вариантом.

Заключение

Анализ схем системы электроснабжения представляет собой изучение ее архитектуры, что принципиально важно для оптимизации работы, выявления уязвимостей и разработки стратегии повышения надежности и экономической составляющей.

Схема системы электроснабжения любого промышленного предприятия подразделяется на внешнюю и внутреннюю. Внешняя схема электроснабжения отвечает за передачу электрической энергии от источника до распределительного пункта, а внутренняя от распределительного пункта до потребителей. Передача электрической энергии осуществляется по кабельным или воздушным линиям электропередач.

Зачастую промышленные фирмы имеют электроприемники первой или второй категории, отказ которых подвергает опасности жизни людей, полного прекращения технологического процесса или непоправимого для него ущерба. По этой причине любое промышленное предприятие будет отдавать предпочтение более надежному и эффективному исполнению схемы внешнего электроснабжения, а именно с резервом, как это было показано на примере судоремонтного завода.

Общая стоимость организации системы электроснабжения судоремонтного завода составила: при радиальном исполнении – 122,1 млн руб., а при магистральном – 109,8 млн руб. Благодаря составленным кольцевым диаграммам стоимости электрооборудования можно сделать вывод, что реализация магистральной схемы на судоремонтном заводе выгодно на 12,3 млн. руб. за счет экономии 1 млн. руб. на кабельных линиях и 11,3 млн. руб. на элегазовых вакуумных выключателях, однако при радиальном исполнении обеспечивается максимальная надежность работы, путем отключения конкретной линии без воздействия на другие потребители, в отличие от магистральной.

Основными преимуществами радиальной схемы электроснабжения являются повышенная надежность, удобная эксплуатация и минимальные потери энергии. Из недостатков отмечается: высокая стоимость и большое занимаемое пространство. Магистральной схеме присуще экономичность, гибкость и компактность. Выделяются недостатки, такие как зависимость от магистрали и сложность балансировки.

Список источников

1. Схемы распределительных подстанций напряжением выше 1 кВ. URL: <https://multiurok.ru/files/skhemy-raspreditelnykh-podstantsii-napriazheniem.html>. (дата обращения: 19.03.2025).

2. Баймухаммедов Д. и др. Структура системы электроснабжения промышленных предприятий // CETERIS PARIBUS. 2024. № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-sistemy-elektrosnabzheniya-promyshlennyh-predpriyatiy> (дата обращения: 18.03.2025).

3. Рябов А. С., Нургалеев Д. Р., Коджаков П. Х. Виды и особенности различных схем электроснабжения // Вестник науки. 2021. № 7 (40). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-i-osobennosti-razlichnyh-shem-elektrosnabzheniya>. (дата обращения: 18.03.2025).

4. Основы электроснабжения объектов отрасли: учеб. пособие / В. Ф. Шишлаков, О. Я. Солёная, С. В. Солёный. СПб.: ГУАП, 2017. 85 с. URL: https://лови5.рф/upload/uf/f38/gzyw6mqtr6t6wf01a31689f6ofjzh80pm/UP_Osnovy_elektrosnabzhenia_obektov_otrasli.pdf (дата обращения: 20.03.2025).
5. Обозначения условные буквенно-цифровые и графические на электрических схемах: практикум по дисциплине «Стандарты в проектировании» / сост. Ю. П. Свиридов. Ульяновск: УлГТУ, 2015. 41 с. URL: <https://lib.laop.ulstu.ru/venec/disk/2016/29.pdf> (дата обращения: 20.03.2025).
6. PromPortal.ru – маркетплейс товаров и услуг, каталог интернет-магазинов России. URL: <https://promportal.ru>. (дата обращения: 20.03.2025).
7. Магазин – ЭТК Электронмаш трансформаторы UNITRAFO. URL: <https://elektron-mash.ru> (дата обращения: 20.03.2025).
8. Схемы электроснабжения. URL: <https://bonpet.tech/articles/skhemy-ehlektrosnabzheniya> (дата обращения: 20.03.2025).
9. Радиальная и магистральная схема электроснабжения. URL: <https://energy-systems.ru/main-articles/proektirovanie-elektriki/radialnaya-i-magistralnaya-shema-elektrosnabzheniya-chno-vybrat-dlya-vashego-proekta> (дата обращения: 21.03.2025).

УДК 621.31

Н. Д. Сологубов

студент кафедры электромеханики и робототехники

О. Я. Солёная – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель**ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Системы электроснабжения играют ключевую роль в обеспечении бесперебойной и качественной поставки электрической энергии для функционирования промышленных и бытовых объектов. Однако множество электрических сетей было возведено десятилетия назад и не соответствует современным требованиям по надежности и эффективности.

В условиях глобальных изменений климата и стремления к устойчивому развитию ключевым направлением в области электроэнергетики становится интеграция возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в существующие энергетические системы. Генерация электроэнергии с использованием ВИЭ, таких как солнечные панели, ветряные турбины, геотермальные установки, не только снижает зависимость от ископаемых источников, но и способствует снижению выброса вредных газов в атмосферу.

Система электроснабжения – это система передачи и распределения электрической энергии, обеспечивающая бесперебойную подачу электропитания объектам промышленного, гражданского или жилого назначения [1]. Любая электрическая система состоит из источников, систем преобразования, распределения, передачи и потребления электрической энергии. На рис. 1 приведена типовая схема электроснабжения.

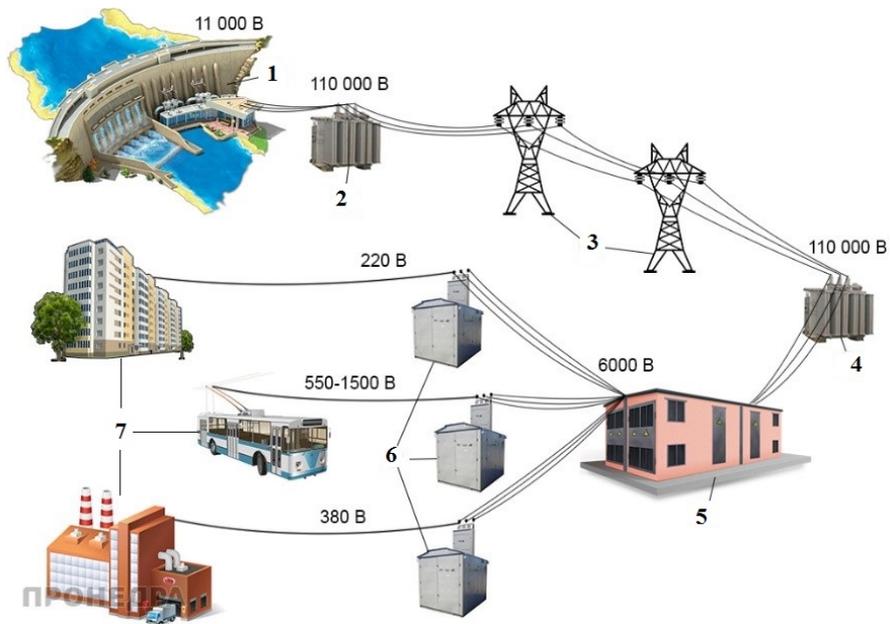


Рис. 1. Структура системы электроснабжения: 1) генерация; 2) трансформаторы; 3) линии электропередач; 4) трансформаторы; 5) главная понижающая подстанция; 6) трансформаторные подстанции; 7) потребители

Основные причины проведения модернизации электрических сетей:

- физический износ оборудования. Многие электрические сети были построены еще в прошлом веке и рассчитаны на меньшие нагрузки;
- естественный износ оборудования (трансформаторы, линии электропередач, коммутационная аппаратура), в следствие чего возрастают потери энергии и увеличивается риск аварий.

Современные системы электроснабжения должны учитывать ограниченность ресурсов и зависимость от поставок топлива, поэтому основными факторами, которые надо в них внедрять, являются:

1. Использование не возобновляемых источников энергии, поскольку при сжигании угля, нефти, газа и т. д. выделяется углекислый газ (CO_2), оксид азота (NO), оксид серы (SO_2) и т. д., что приводит к увеличению парникового эффекта, вызывает кислотные дожди, загрязняет воду и воздух;
2. Переход к новым технологиям – использование интеллектуальных сетей, которые способствуют гибкости в управлении энергосистемы, помогают регулировать количество генерируемой энергии, что минимизирует потери, а также повышают эффективность распределения энергии, оперативно реагируя на изменения режимных параметров в энергосистеме.

Для модернизации электрических сетей можно использовать:

1. Интеллектуальные сети (Smart Grid) – это модернизированные сети электроснабжения, которые используют информационные и коммуникационные сети и технологии для сбора информации об энергопроизводстве и энергопотреблении, позволяющей автоматически повышать эффективность, надежность, экономическую выгоду, а также устойчивость производства [2].

Ключевые особенности Smart Grid:

- двухсторонний обмен данными между производителями и потребителями электроэнергии;
 - автоматическое восстановление сетей в случае аварий;
 - помогают энергосистеме адаптироваться к изменению генерации электроэнергии, связанным с использованием ВИЭ;
 - использование умных счетчиков для оптимизации потребления энергии.
2. Цифровые подстанции (ЦПС) – это подстанция с высоким уровнем автоматизации, в которой практически все процессы информационного обмена между элементами ПС, а также управление работой ПС осуществляются в цифровом виде на основе стандартов серии МЭК 61850 [3].

Основные технологии, используемые на ЦПС:

- оптоволоконные линии связи вместо медных проводов;
 - умные датчики для измерения параметров сети;
 - автоматизированные системы управления для контроля работы оборудования.
3. Цифровые двойники – это виртуальная копия физического объекта (электростанции, подстанции, или всей энергосистемы), которая в реальном времени анализирует данные с оборудования, прогнозирует его поведение и помогает оптимизировать работу. Основные функции виртуального двойника системы электроснабжения:
 1. сбор данных с датчиков на реальном объекте;
 2. хранение данных и сортировка;
 3. моделирование и прогнозирование поведения электрифицированного объекта на основе искусственного интеллекта;
 4. прогнозирование срока службы оборудования и вероятности возникновения аварий.

В табл. 1 приведены основные преимущества и недостатки различных методов повышения эффективности систем электроснабжения.

Модернизация электрических сетей в условиях растущего спроса на электроэнергию и внедрение ВИЭ способствует стабильности, надежности и устойчивости энергоснабжения. Современные технологии обеспечивают эффективное управление энергопотоками, снижают потери энергии и адаптируют энергосистемы к изменениям. В то же время использование современных технологий сопряжено с высокими инвестиционными затратами, киберугрозами и необходимостью квалифицированного персонала для обслуживания систем.

Развитие электрических сетей является необходимым шагом для создания надежной и безопасной инфраструктуры, способной удовлетворять потребности общества.

Преимущества и недостатки методов повышения эффективности систем электроснабжения

Метод модернизации, технология	Преимущества	Недостатки
Интеллектуальные сети (Smart Grid)	Снижение потерь в сети	Высокая стоимость
	Автоматическое восстановление питания	Уязвимость к кибератакам
	Адаптирование систем к использованию ВИЭ	Необходим квалифицированный персонал
	Возможность удаленного мониторинга	
Цифровые подстанции	Повышение надежности и устойчивости систем	Дорогостоящая модернизация
	Снижение эксплуатационных затрат	Зависимость от программного обеспечения
	Удаленное управление и диагностика	Риск технических неисправностей
ВИЭ	Снижение зависимости от ископаемых источников	Переменная генерация (зависит от погоды)
	Экологическая чистота	Высокая стоимость для аккумулярования энергии
	Возможность создания автономных сетей	Высокая стоимость
Цифровые двойники	Повышение устойчивости электрической сети	Риск каскадных аварий в протяженных сетях
	Снижение стоимости электроэнергии	
	Упрощение проведения диагностики	
	Прогнозирование потребления, износа оборудования и аварий	Высокая стоимость

Список источников

1. Системы энергоснабжения. URL: <https://spbocie.ru/energostonab/> (дата обращения: 05.03.2025).
2. Smart Grid. Умные Сети. Интеллектуальные сети электроснабжения. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:Smart_Grid_ (дата обращения: 06.03.2025).
3. Цифровые подстанции – цифровое будущее. URL: <https://1-engineer.ru/cifrovye-podstancii-cifrovoe-budushhee/> (дата обращения: 06.03.2025).

УДК 621.314.222.6

А. А. Софронов

студент кафедры электромеханики и робототехники

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ДЖАЙЛСА – АТЕРТОНА ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ХОЛОСТОГО ХОДА

При моделировании работы судовой электроэнергетической сети большое значение имеет расчет переходных процессов. При пуске мощных многообмоточных преобразовательных трансформаторов возникает значительный бросок пускового тока намагничивания, который может накладываться на процесс заряда звена постоянного тока преобразователя. Это может привести к повреждению элементов преобразователя, поэтому при разработке новых преобразователей требуется рассчитать случай прямого пуска трансформатора и определить наиболее оптимальный метод ограничения пускового тока.

На сегодняшний день для моделирования элементов сердечника трансформатора наибольшее распространение получила модель гистерезиса ферромагнетиков Джайлса – Атертона. Данная модель описывает зависимость намагниченности материала от напряженности внешнего магнитного поля и предыдущего состояния сердечника при перемагничивании. Одним из главных преимуществ является возможность получения частных петель гистерезиса и реалистичное представление остаточной намагниченности после уменьшения внешнего магнитного поля [1]. Для моделирования сердечника требуется определить следующие параметры модели Джайлса – Атертона [2-4]:

1. Объемный коэффициент связи K . Определяет среднюю энергию необходимую для смещения границы домена магнитного материала;
2. Коэффициент междоменной связи α определяет взаимодействие между доменами;
3. Коэффициент обратимой намагниченности c . Параметр определяет, какая доля от общего намагничивания определяется безгистерезисным намагничиванием и необратимой намагниченностью;
4. Коэффициент формы ангистерезисной кривой a . Безразмерный коэффициент, определяющий форму безгистерезисной кривой намагничивания;
5. Намагниченность насыщения M_s . Максимальное значение намагниченности, после которого увеличение приложенного магнитного поля не приводит к значительному увеличению намагниченности.

Процесс намагничивания в модели описан как результат наложения двух составляющих. Первая зависит только от напряженности магнитного поля и не обладает гистерезисом, вторая определяется историей предшествующего намагничивания и задает необратимую часть намагничивания. Общая намагниченность элемента определяется:

$$M = cM_{an} + (1 - c)M_{irr},$$

где c – Коэффициент обратимой намагниченности, M_{an} – ангистерезисная намагниченность, M_{irr} – необратимая намагниченность.

Ангистерезисная намагниченность задается следующим выражением:

$$M_{an} = M_s \left(\coth \left(\frac{H_{eff}}{a} \right) - \frac{a}{H_{eff}} \right),$$

где M_s – намагниченность насыщения, H_{eff} – эффективное значение приложенного поля, a – коэффициент формы.

Эффективное значение приложенного поля – это сумма внешнего приложенного поля и влияние намагниченности самого материала:

$$H_{eff} = H + \alpha M,$$

где H – напряженность внешнего поля, α – коэффициент междоменной связи.

Необратимая намагниченность зависит от предыдущего состояния материала и может быть выражена следующими уравнениями:

$$\frac{dM_{irr}}{dH} = \frac{M_{an} - M_{irr}}{K\delta - \alpha(M_{an} - M_{irr})},$$

$$\delta = \begin{cases} 1 & H \geq 0 \\ -1 & H < 0 \end{cases}$$

Рассмотренные параметры возможно определить, только анализируя петлю гистерезиса материала сердечника. При моделировании реального трансформатора обычно известна только марка электротехнической стали. Получение необходимых данных из справочной литературы часто вызывает ряд затруднений, а именно: в справочной литературе приводится только основная кривая намагничивания, приведены гарантированные значения (например, магнитная индукция не менее 1,5 при значении напряженности 1000 А/м). Также параметры материалов в различных партиях могут иметь отклонения параметров до 20% [5].

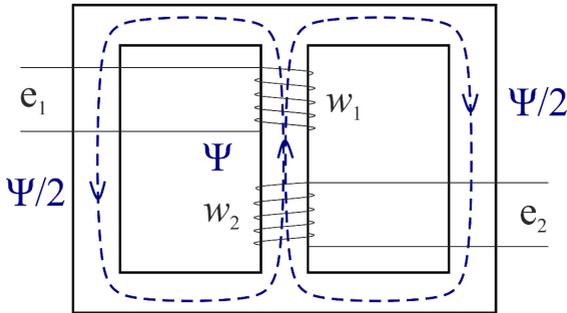


Рис. 1. Схема броневого трансформатора

Сердечник исследуемого броневого однофазного трансформатора показан на рис. 1. На среднем стержне располагаются две обмотки. При протекании переменного тока по первичной обмотке в магнитопроводе возникает магнитный поток. Напряжение по закону электромагнитной индукции пропорционально скорости изменения магнитного потока, можно выразить магнитную индукцию в сердечнике зная напряжение на вторичной обмотке:

$$B = -\frac{1}{w_2 S} \int_0^t e_2 dt,$$

где B – индукция магнитного поля, w_2 , S – сечение стали сердечника, e_2 – напряжение на вторичной обмотке.

Напряженность магнитного поля связана с током в первичной обмотке:

$$H = -\frac{w_1 i_1}{l},$$

где H – напряженность магнитного поля, w_1 , l – средняя длина линии магнитопровода, e_2 – напряжение на вторичной обмотке i_1 – ток первичной обмотки.

На рис. 2 показаны полученные осциллограммы, соответствующие холостому ходу при различном количестве витков в первичной обмотке. После пересчета тока и напряжения в напряженность и индукцию в сердечнике были получены две петли гистерезиса, соответствующие холостому ходу (рис. 3). На график наложена основная кривая намагничивания для стали марки 1211. Основная кривая

намагничивания – это кривая состоящая из вершин петель гистерезиса при изменяющемся внешнем магнитном поле [6]. Отклонение полученной петли гистерезиса от теоретической не превышает 5%.



Рис. 2. Осциллограммы холостого хода: Синий (1) – ток 1 А/дел, Красный (2) – напряжение 5 В/дел; а) $w_1 = 84, w_2 = 42$; б) $w_1 = 42, w_2 = 84$

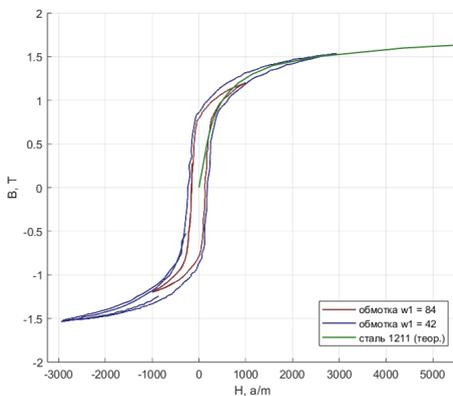


Рис. 3. Теоретическая кривая намагничивания и результаты измерения

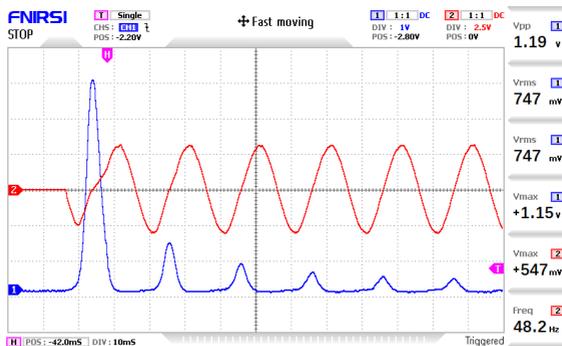


Рис. 4. Осциллограмма переходного процесса пуска (Синий (1) – ток 1А/дел, Красный (2) – напряжение 25 В/дел)

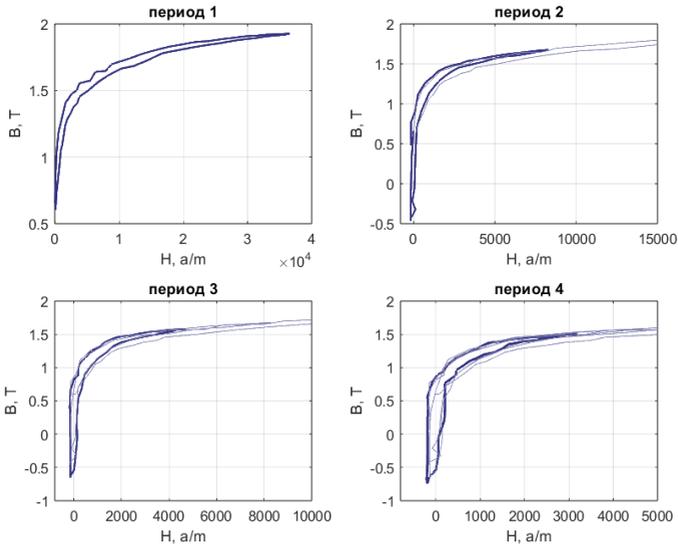


Рис. 5. Изменение петли гистерезиса при пуске

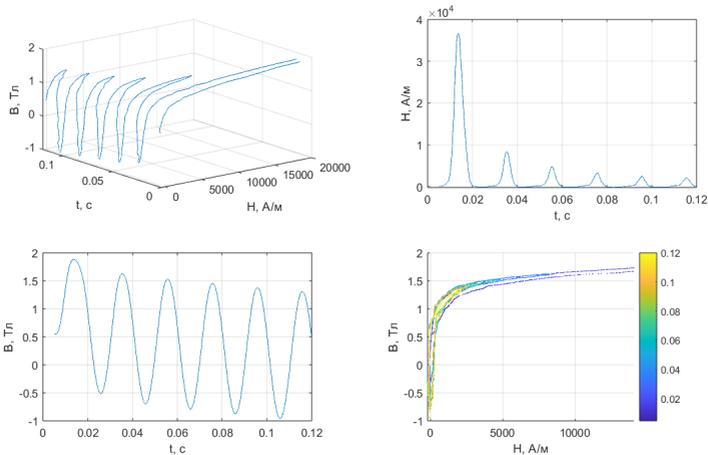


Рис. 6. Напряженность и индукция магнитного поля в сердечнике при пуске

Аналогичным образом возможно восстановить состояние в сердечнике трансформатора при пуске. На рис. 4 показана осциллограмма тока и напряжения при переходном процессе пуска трансформатора. При интегрировании напряжения требуется подобрать начальные условия, которые обеспечат сходимость серии петель гистерезиса. На рис. 5 для каждого периода обозначена частная петля гистерезиса, по которой перемагничивался сердечник. Петля гистерезиса не симметричная, это связано с остаточным потоком намагничивания, который при пуске накладывается на рабочий и приводит к брос-

кам тока намагничивания (рис. 6). Значение остаточной индукции в сердечнике в момент включения 0,55 Тл. Полученные петли гистерезиса позволяют определить параметры модели Джэйлса – Атертона путем проведения моделирования аналогичного опыта и подбора коэффициентов [7]:

1. По кривой намагничивания нужно определить точку насыщения сердечника;
2. По начальному участку основной кривой определяется наклон кривой для расчета коэффициента формы;
3. Подобрать коэффициент обратимой намагничиваемой s . Параметр s влияет на наклон петли, при значении равном 1 наклон будет совпадать с основной кривой намагничивания
4. Определить K исходя из значения коэрцитивной силы.
5. Определить α , соответствующее полученному значению остаточной индукции в сердечнике.

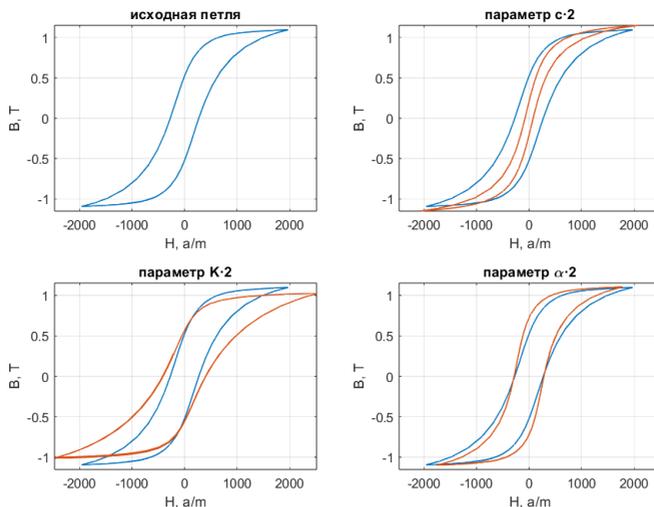


Рис. 7. Влияние увеличения параметров на вид петли гистерезиса

После получения приближенных значений может потребоваться экспериментальный подбор параметров до достижения требуемой точности совпадения с исходной петлей гистерезиса. На рис. 7 показано влияние увеличения параметров на форму пели гистерезиса.

В работе рассмотрен процесс построения петли магнитного гистерезиса на основе анализа тока намагничивания трансформатора и напряжения вторичной обмотки, а также последующее определение коэффициентов модели Джэйлса – Атертона. Анализ переходного процесса пуска трансформатора позволяет получить целое семейство петель гистерезиса, по которым возможна подгонка коэффициентов модели, при этом не требуется внесения изменений в обмотки трансформатора или проведение серии опытов при различном напряжении. Применение большего количества доступных петель гистерезиса и наличие ассиметричных петель гистерезиса при подборе коэффициентов положительно влияют на точность моделирования в переходных режимах. Так отклонение максимальной амплитуды первого броска тока намагничивания снизилось с 15 до 10% по сравнению с коэффициентами, определенными по одной петле гистерезиса.

Список источников

1. Gans Š, Molnád., Kováč. Estimation of Jiles – Atherton Parameters of Toroid Cores Using MATLAB/Simulink // ACTA PHYSICA POLONICA A. 2023. № 5. (Vol. 143). P. 389–399.

2. Typical Simscape Language Tasks. URL: <https://www.mathworks.com/help/simscape/lang/typical-simscape-language-tasks.html> (дата обращения: 05.03.2025).
3. Simscape™ 23.2 Language Guide. 2023. URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simscape/simscape_lang.pdf (дата обращения: 05.03.2025).
4. Simscape™ 23.2 User's Guide. 2023. URL: https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/simscape/simscape Ug.pdf (дата обращения: 05.03.2025).
5. Тихонов А. И. и др. Метод коррекции имитационной модели однофазного трансформатора с использованием осциллограмм тока холостого хода // Вестник ИГЭУ. 2022. № 2. С. 38–45.
6. Снитко И. С. Разработка методики расширенного поверочного расчета в САПР силовых трансформаторов на базе имитационных моделей. Иваново: ИГЭУ, 2022. 154 с.
7. Документация Engee среда моделирования и симуляции. Катушка индуктивности с нелинейным сердечником. URL: <https://engee.com/helpcenter/stable/ru/electrical-passive/nonlinear-inductor.html> (дата обращения: 05.03.2025).

УДК 621.314.6

Д. И. Старошук

студент кафедры электромеханики и робототехники

С. В. Солёный – заведующий кафедрой электромеханики и робототехники – научный руководитель**А. П. Бобрышов** – ассистент кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Электрозаправочная станция (ЭЗС) – элемент городской инфраструктуры, позволяющий заряжать аккумулятор электротранспорта. Тенденция использования электротранспорта носит популярность в связи с активно растущим направлением снижения углеродистого следа в городах, для способствования улучшению экологии в мегаполисах.

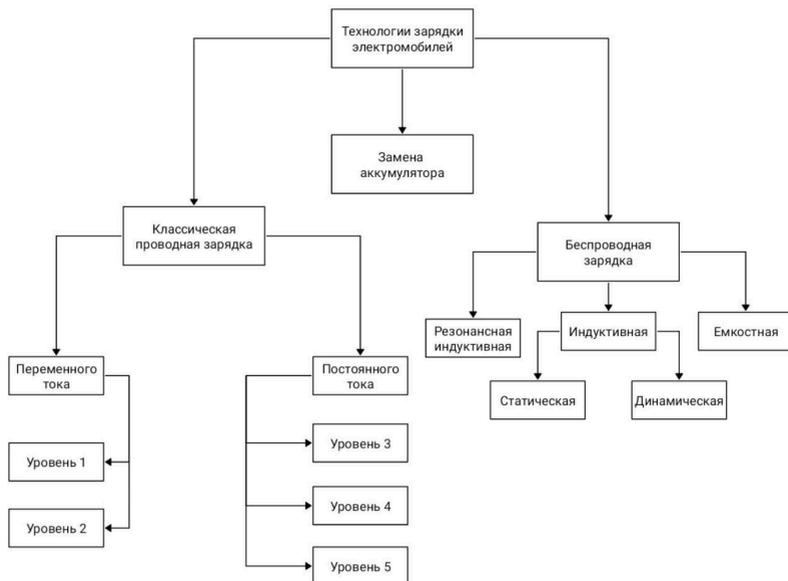


Рис. 1. Классификация зарядных станций

На данный момент существует три основных способа заряда электромобиля, такие как классическая проводная и беспроводная зарядка, а также замена аккумулятора электротранспорта [1]. На рис. 1 изображена классификация зарядных станций. Технологии беспроводной зарядки и замена аккумулятора в настоящее время находятся на стадии исследования и проведения испытаний. Классическая проводная зарядка разделяется на два основных типа по роду электрического тока на зарядные станции постоянного и переменного тока. В свою очередь данные типы зарядных станций различаются по параметрам мощности, напряжения и электрического тока, что является важным моментом для скорости заряда электротранспорта. Они способны зарядить электромобиль менее чем за час, благодаря чему их можно устанавливать в общественных местах.

Появились необходимость в проектировании подобных зарядных станций. Наиболее распространенные станции с номинальной мощностью 50–150 кВт построены по модульному принципу, для обеспечения требуемой выходной мощности [2].

Рассмотрим структурную схему высоковольтной системы зарядки электромобиля, состоящую из стадий преобразования трехфазного переменного тока в регулируемое постоянное напряжение, подходящее для зарядки электромобиля [3]. AC/DC инверторы преобразуют переменный ток (AC) из сети в постоянный ток (DC) для зарядки электромобиля. DC/DC инверторы используются для управления напряжением и током, обеспечивая оптимальные условия зарядки.

Существует два основных этапа: преобразование переменного тока в постоянный и преобразование полученного постоянного тока в постоянный ток требуемой величины энергопараметров, подходящих для аккумулятора электромобиля. Входной трехфазный переменный ток с напряжением от 200 до 400 В преобразуется в постоянный ток с напряжением от 400 до 1000 В. Используется трехфазная двухуровневая полномостовая коррекция коэффициента мощности (PFC), с компонентами биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT) и катушек индуктивности, обеспечивающих коэффициент мощности близкий к единице. DC/DC преобразование происходит за счет использования резонансного LLC-преобразователя. Преобразует напряжение постоянного тока 400-1000 В, в стабильное, обеспечивает гальваническую развязку и высокую эффективность. Включает в себя высокочастотный трансформатор изолирующий вход и выход.

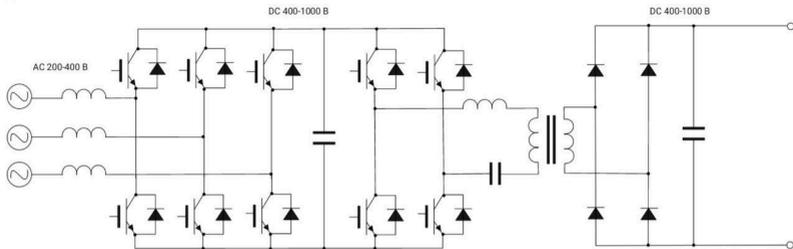


Рис. 2. Структурная схема преобразователя

В преобразователь поступает трехфазный переменный ток. Происходит выпрямление – преобразование переменного тока в пульсирующий постоянный ток. Транзисторы пропускают ток только в одном направлении, блокируя отрицательную часть синусоиды переменного тока. Напряжение увеличивается. Конденсатор используется для фильтрации выходного сигнала и уменьшения его пульсаций, что приводит к более стабильному сигналу постоянного тока. Гальваническая развязка также используется для фильтрации. Особенностью данного преобразователя является контур преобразования постоянного тока в постоянный ток высокой частоты, DC/DC преобразователь [4].

Существуют различные стандарты подключения для зарядных станций постоянного тока, каждый из этих стандартов имеет свои особенности и совместимость с различными марками электромобилей:

- 1) Разъем Type 1 наиболее распространен в Северной Америке и Японии, имеет 5 штырей.
- 2) Разъем Type 2 получил распространение в Европе, особенно в Германии, имеет 7 штырей.
- 3) Разъемы CCS combo Type 1 и CCS combo Type 2 также наиболее часто используются в Европе, имеют 7 и 9 штырей соответственно.
- 4) В России, а также в Китае, получил распространение разъем GB/T, с 7 и 9 штырями.
- 5) В Японии наиболее распространен разъем CHAdeMO с 10 штырями.

На данный момент существует три основных способа подключения электромобиля к зарядке:

- А) Кабель питания с вилкой постоянно прикреплен к электромобилю и присоединен к бытовой или промышленной штепсельной розетке или розетке зарядной станции.
- Б) Кабель питания с вилкой съемный и присоединен к бытовой или промышленной штепсельной розетке или розетке зарядной станции.
- В) Кабель питания с вилкой постоянно прикреплен к источнику питания: бытовой или промышленной штепсельной розетке или розетке зарядной станции.

Для контроля разработки созданы международные и государственные стандарты, такие как:

1. ГОСТ Р 59030-2020 (МЭК 61975:2016) Системы постоянного тока высокого напряжения. Виды и методы испытаний.

2. ГОСТ Р МЭК 62196-3-2018 (IEC 62196-3:2014 Plugs, socket-outlets, vehicle connectors and vehicle inlets). Вилки, штепсельные розетки, переносные розетки и вводы транспортных средств. Проводная зарядка электрических транспортных средств.

3. ГОСТ 34695.21-2-2020 (IEC 61851-21-:2018 Electric vehicle conductive charging system). Межгосударственный стандарт. Система зарядки электрических транспортных средств проводная. Требования для проводного соединения с источником питания переменного или постоянного тока. Требования электромагнитной совместимости для внешних зарядных систем.

4. ГОСТ Р МЭК 61851-1-2013 (IEC 61851-1:2010 Electric vehicle conductive charging system). Система токопроводящей зарядки электромобилей.

5. ГОСТ Р 58122-2018 (ИСО 15118-1:2013) Интеллектуальная инфраструктура зарядки электромобилей.

У зарядных станций постоянного тока есть свои достоинства и недостатки.

Зарядные станции интегрируются в электрическую сеть, для возможности управления нагрузкой. Это позволяет оптимизировать потребление энергии в зависимости от времени суток и тарифов.

Управление нагрузкой: Современные зарядные станции могут использовать технологии управления нагрузкой, чтобы минимизировать влияние на электрическую сеть, например, путем зарядки в ночное время, когда спрос на электроэнергию ниже.

В зарядных станциях могут применяться многоступенчатые методы зарядки, которые включают несколько этапов с различными токами, что позволяет более эффективно управлять процессом зарядки и продлить срок службы батарей.

«Умная» зарядка, поддерживаемая центральными системами управления нагрузкой, может сглаживать спрос на электроэнергию, что позволяет более эффективно использовать ресурсы генерации и снижать нагрузку на местные распределительные сети. Зарядные станции могут регулировать мощность зарядки в зависимости от состояния аккумулятора электромобиля. Это позволяет оптимизировать процесс зарядки и минимизировать износ аккумулятора. Импульсная зарядка позволяет быстро заряжать батареи, но может негативно сказаться на их характеристиках. Буст-зарядка позволяет заряжать батареи с высоким током в течение короткого времени. Время зарядки может варьироваться в зависимости от состояния батареи, температуры и других факторов.

Перегрев – одна из главных потенциальных проблем, для его предотвращения нужно учитывать надежность компонентов и безопасность зарядного процесса, необходим постоянный контроль процесса зарядки в режиме реального времени. Также перегрев происходит из-за большого тепловыделения из-за использования высоких токов.

Для зарядных станций постоянного тока требуется наличие мощной электрической инфраструктуры, что может быть сложно реализовать в некоторых регионах, особенно в удаленных или сельских местностях.

Алгоритмы, используемые для управления процессом зарядки, могут быть недостаточно оптимизированными, что приводит к неэффективному использованию энергии и увеличению времени зарядки. Например, отсутствие многоступенчатой зарядки может привести к более длительному времени зарядки и снижению срока службы батареи.

Существуют проблемы совместимости электромобиля и зарядной станции, из-за использования различных стандартов подключения и протоколов зарядки. Это ограничивает доступность зарядных станций для владельцев различных моделей электромобилей.

Процесс аутентификации может быть неудобным для пользователей, особенно если требуется использование специальных карт или приложений. Это может привести к задержкам и негативному опыту пользователей, особенно в условиях высокой загруженности зарядных станций.

Недостаточная защита от несанкционированного доступа и кибератак может поставить под угрозу как пользователей, так и инфраструктуру зарядных станций. Это может привести к утечке данных или повреждению оборудования.

Таким образом, зарядные станции постоянного тока обладают высокой мощностью, что сокращает время, требуемое для зарядки электромобиля. С помощью встроенного выпрямителя, перемен-

ный ток, поступающий из сети, преобразуется в постоянный. В отличие от зарядных станций переменного тока, они напрямую подключаются к аккумулятору электромобиля, что позволяет напрямую регулировать мощность и параметры заряда батареи через стандартизированные протоколы. Помимо протоколов связи, международные стандарты также регламентируют электромагнитную совместимость, параметры тока и напряжения, разъемы и другие компоненты зарядной станции. Исходя из этого, можно сказать, что зарядные станции постоянного тока являются наиболее перспективным и востребованным видом ЭЭС. Их необходимо усовершенствовать, решив проблемы совместимости зарядной станции и автомобиля, уменьшить вероятность перегрева, создать более удобную и безопасную инфраструктуру для пользователей.

Список источников

1. *Ali Jawad Alrubaie et al.* A Comprehensive Review of Electric Vehicle Charging Stations with Solar Photovoltaic System Considering Market, Technical Requirements, Network Implications, and Future Challenges. URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/8122> (дата обращения: 31.01.2025).
2. Харин О., Доменико Ф. ди, Рагхунтатх Ш. Зарядные устройства мощностью до 150 кВт для быстрого заряда электромобилей. URL: https://click.yandex.ru/redirect/nWO_r1F33ck?data=NnBZTWRhdFZKOHRaTENSMTFc4S0VQR05kdGRqRWE3WEk1eXd5aktDNTJpYURiX0JjdkIMS19kNkRXX3dGbWfVtk1xYWlZdG93Vkd0VWpHNlI1ZHhfbWdBUm5EN0hvUzI4YUNwRV11QWdQYmJvVXhYaDFIODZwQlItcEFkbXVRaVdta3AzU3c1eGd2TUIQMFBSei1tMXdJlU3ljdHE4Z19Rb3JvdHVGV2RaOUVr&b64e=2&sign=c3974e734c95c3ede5882325d2c5d58d&keyno=17 (дата обращения: 31.01.2025).
3. *Ryutaro Minesawa, Yasushiko Ochiai, Shinya Ishida.* Market and Technology trends for EV charging stations. URL: <https://www.renesas.com/en/blogs/market-and-technology-trends-ev-charging-stations> (дата обращения: 31.01.2025).
4. How to convert from AC to DC? URL: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.cf6c2b3c-67c8af7a-31ad85e6-74722d776562/https/www.geeksforgEEKS.org/how-to-convert-from-ac-to-dc/ (дата обращения: 31.01.2025).

УДК 620.92

А. А. Ульрих

студент кафедры электромеханики и робототехники

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Введение

Модернизация электрических сетей с применением цифровых технологий является ключевым направлением развития энергетической отрасли в условиях растущего спроса на электроэнергию и необходимости повышения эффективности и надежности энергоснабжения. Цифровизация позволяет интегрировать возобновляемые источники энергии, улучшать управление распределением электроэнергии и снижать эксплуатационные расходы.

Преимущества цифровизации электрических сетей

1. Повышение надежности и устойчивости энергосистемы является одним из ключевых преимуществ цифровизации электрических сетей. Внедрение интеллектуальных технологий позволяет оперативно выявлять и устранять неисправности, а также адаптироваться к изменениям в режиме работы энергосистемы благодаря следующим аспектам:

- **Мониторинг в реальном времени.** Интеллектуальные датчики и системы мониторинга фиксируют изменения параметров сети в режиме реального времени. Это позволяет быстро обнаруживать такие проблемы, как скачки напряжения, короткие замыкания, перегрузки или повреждения кабелей. Например, датчики тока и напряжения, установленные на линиях электропередачи, могут моментально сигнализировать о проблемах в сети, что ускоряет принятие мер.

- **Предиктивное обслуживание.** Прогнозирующая аналитика позволяет предотвратить аварии, выявляя ранние признаки износа оборудования. Например, анализ данных о вибрациях трансформаторов, нагреве кабелей или изменениях сопротивления может указать на необходимость проведения технического обслуживания до того, как произойдет отказ.

- **Сокращение времени устранения аварий.** Использование цифровых технологий, таких как системы геоинформационного анализа, помогает точно определить место повреждения. Это сокращает время, необходимое для устранения неисправностей, особенно в условиях крупных аварий. Рабочие бригады получают точные координаты и подробные данные о характере проблемы, что ускоряет восстановление энергоснабжения.

- **Устойчивость к изменяющимся условиям.** Цифровизация повышает устойчивость энергосистемы к внешним воздействиям, таким как неблагоприятные погодные условия, резкое увеличение нагрузки или кибератаки. Например, системы ИИ способны прогнозировать экстремальные ситуации на основе данных о погоде или истории аварий, что позволяет подготовить сеть заранее.

- **Резервирование и гибкость.** Интеграция интеллектуальных систем управления позволяет создать резервные пути передачи электроэнергии. При выходе из строя одного участка сети электроэнергия перенаправляется по альтернативным маршрутам, что минимизирует риск полного отключения потребителей.

- **Интеграция микросетей.** Микросети (microgrids) с собственными источниками генерации и хранения энергии обеспечивают автономность отдельных районов или объектов в случае глобальных сбоев. Это особенно актуально для объектов критической инфраструктуры, таких как больницы, заводы или военные базы.

Примером успешной реализации таких технологий является использование интеллектуальных сетей в странах ЕС, где системы Smart Grid минимизируют риск отключений и позволяют быстрее восстанавливать работу сети после аварий [1].

2. Снижение операционных и капитальных затрат на эксплуатацию и модернизацию электрических сетей является одним из ключевых преимуществ цифровизации. Основные аспекты этого процесса включают:

- **Предиктивное обслуживание оборудования.** Традиционные методы обслуживания предполагают плановые проверки и ремонт оборудования вне зависимости от его состояния. Это приводит к излишним расходам на диагностику и замену компонентов. Цифровые технологии, такие как системы предиктивного анализа, позволяют отслеживать состояние оборудования в реальном времени и прогнозировать возможные поломки. Например, анализ вибраций трансформаторов или изменений температуры кабелей может указать на необходимость проведения профилактического ремонта, что позволяет оптимизировать затраты на техническое обслуживание и предотвращать дорогостоящие аварии.

- **Сокращение потерь энергии.** Интеллектуальные сети оптимизируют распределение электроэнергии, минимизируя потери при передаче. Такие системы используют алгоритмы для управления потоками энергии, перераспределяя ее в зависимости от текущих потребностей. Это не только повышает эффективность сети, но и снижает затраты на генерацию избыточной мощности.

- **Автоматизация рабочих процессов.** Использование автоматизированных систем управления и контроля уменьшает потребность в ручном труде. Цифровые подстанции оснащены оборудованием, которое может быть удаленно настроено и протестировано. Это сокращает расходы на выезды технического персонала и ускоряет проведение ремонтных работ.

- **Удлинение срока службы оборудования.** Постоянный мониторинг состояния ключевых элементов сети позволяет выявлять отклонения на ранней стадии. Это снижает вероятность серьезных повреждений и продлевает срок эксплуатации оборудования, уменьшая капитальные затраты на его замену.

- **Эффективное управление энергопотреблением.** Системы управления нагрузкой позволяют оптимизировать использование энергии, распределяя ее более равномерно. Это снижает необходимость в капитальных вложениях на строительство новых линий и подстанций для покрытия пиковых нагрузок.

- **Снижение затрат на интеграцию возобновляемых источников энергии.** Традиционные сети требуют значительных инвестиций для подключения солнечных и ветровых электростанций. Цифровые сети, благодаря использованию интеллектуальных инверторов и систем управления, позволяют интегрировать возобновляемые источники с минимальными издержками.

3. **Интеграция возобновляемых источников энергии.** Возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и ветровые электростанции, характеризуются переменным уровнем генерации. Цифровизация электрических сетей позволяет эффективно управлять этим процессом благодаря системам мониторинга и управления в реальном времени, которые автоматически балансируют производство и потребление, интегрируя возобновляемую энергетику без ущерба для надежности энергоснабжения.

Однако, одним из ключевых недостатков данной интеграции является высокая стоимость ВИЭ, так как туда входит большое количество вспомогательного оборудования (выпрямители, инверторы, аккумуляторы и т.д.), что не только повышает стоимость энергосистемы, но еще и усложняет схему электроснабжения.

Еще одним ключевым фактором, мешающим быстрому и легкому внедрению ВИЭ в энергосистему нашей страны, является невозможность продажи электричества в сеть. Бесконтрольное подключение генерирующих мощностей, пусть и малой и влечет за собой трудности в контроле энергии, прогнозировании выработки, и, как следствие, перебоям в работе.

4. **Улучшение качества обслуживания потребителей.** Цифровизация предоставляет потребителям новые инструменты для управления энергопотреблением. «Умные» счетчики и связанные с ними платформы обеспечивают доступ к данным о потреблении электроэнергии в режиме реального времени. Это позволяет пользователям:

- оптимизировать потребление энергии. Потребители могут анализировать свои энергетические привычки и находить способы их изменения для экономии. Например, они могут откладывать использование энергозатратных приборов на периоды с более низкими тарифами;

- участвовать в программах энергосбережения. Компании предлагают клиентам бонусы или скидки за участие в таких инициативах, как снижение потребления в часы пиковой нагрузки;

- получать оперативные уведомления. Уведомления о превышении норм потребления, неисправностях оборудования или изменениях в тарифах помогают пользователям быстро реагировать на изменения;

- использовать гибкие тарифные планы. На основе данных о потреблении пользователи могут выбирать тарифы, которые лучше всего соответствуют их образу жизни и предпочтениям. Например, ночные тарифы могут быть выгодны для тех, кто использует энергоёмкие устройства в ночное время.

Основные направления цифровизации электрических сетей:

1. Создание интеллектуальных сетей (Smart Grids). Интеллектуальные сети (Smart Grids) представляют собой модернизированную энергетическую инфраструктуру, в которой интегрированы цифровые технологии, сенсоры, коммуникационные системы и аналитическое программное обеспечение. Основная цель Smart Grids – повысить эффективность, надежность и устойчивость энергоснабжения при минимизации операционных затрат [2]. Рассмотрим ключевые элементы и преимущества таких систем (рис. 1).

Двусторонний обмен данными. Smart Grids обеспечивают двусторонний обмен информацией между энергопроизводителями и потребителями. Это позволяет в реальном времени учитывать изменения в потреблении, планировать генерацию и оптимизировать распределение энергии.

Интеграция возобновляемых источников энергии. Умные сети способны гибко управлять подключением и отключением солнечных панелей, ветрогенераторов и других источников возобновляемой энергии, балансируя их работу с традиционными электростанциями. Это обеспечивает стабильность сети, даже при высокой доле переменной генерации.

Системы мониторинга в реальном времени. В сетях Smart Grid используется множество сенсоров и интеллектуальных устройств, которые передают данные о состоянии системы. Это позволяет быстро выявлять неисправности, отслеживать уровень нагрузки и прогнозировать потенциальные проблемы.

Оптимизация энергопотребления. Для потребителей Smart Grids предлагают инновационные инструменты, такие как умные счетчики и устройства управления нагрузкой. Это позволяет более эффективно использовать электроэнергию, снижая общие затраты и улучшая качество обслуживания.

Автоматизация управления. Умные сети интегрируют системы автоматического управления, которые способны перенаправлять потоки энергии, устранять перегрузки и минимизировать отключения без участия оператора. Примером таких систем являются платформы SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), которые широко применяются в управлении электрическими сетями.

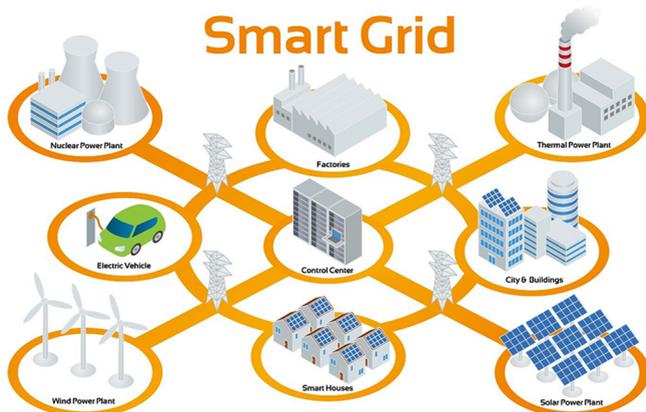


Рис. 1. Структура интеллектуальных сетей Smart Grid

2. Внедрение цифровых подстанций. Цифровые подстанции являются важной частью модернизации электрических сетей, так как они обеспечивают высокий уровень автоматизации и эффективности в управлении энергией. Основное отличие цифровой подстанции от традиционной заключается в

замене аналоговых устройств цифровыми, что позволяет значительно улучшить управление, мониторинг и диагностики.

Ключевые особенности цифровых подстанций:

- *Применение интеллектуальных устройств.* В цифровых подстанциях используются интеллектуальные реле, трансформаторы с датчиками температуры и вибрации, а также системы управления, способные анализировать данные и принимать решения в режиме реального времени.

- *Стандартизация обмена данными.* Использование протокола IEC 61850 позволяет унифицировать взаимодействие между устройствами различных производителей. Это упрощает интеграцию новых компонентов и снижает затраты на обслуживание.

- *Удаленное управление и мониторинг.* Благодаря цифровым технологиям операторы могут управлять подстанцией и отслеживать ее состояние из центрального диспетчерского пункта. Это значительно ускоряет диагностику и устранение неисправностей.

- *Предиктивное обслуживание.* Анализ данных с датчиков позволяет заранее выявлять потенциальные неисправности оборудования, предотвращая аварийные ситуации и снижая расходы на ремонт.

В России активно развиваются цифровые подстанции в рамках программы цифровизации ПАО «Россети» [3], в рамках которой подведомственные подстанции оборудованы современными системами мониторинга и управления, что позволяет значительно сократить время простоя и улучшить качество энергоснабжения (рис. 2) [4].

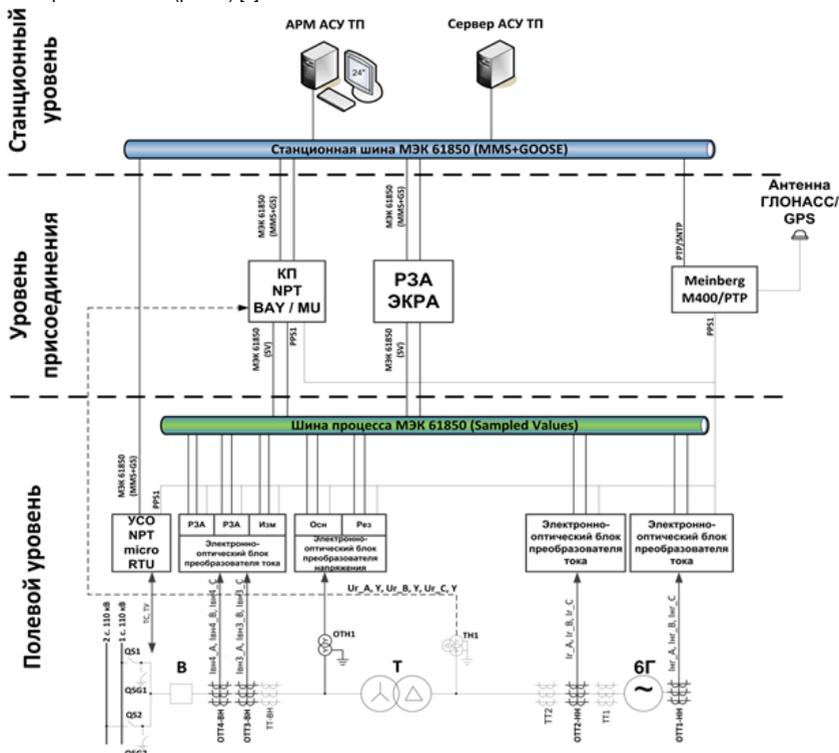


Рис. 2. Структура цифровой подстанции по стандарту МЭК 61850

В международной практике компании Siemens и ABB предоставляют решения для цифровых подстанций, которые уже используются в Европе и США для повышения эффективности энергосистем [4].

3. Применение технологий искусственного интеллекта и машинного обучения. Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) становятся важными инструментами в управлении электрическими сетями. Эти технологии позволяют анализировать огромные объемы данных, поступающих с сенсоров, счетчиков и систем мониторинга, чтобы оптимизировать работу энергосистемы. Основные направления применения включают:

- *Прогнозирование спроса на электроэнергию.* Алгоритмы машинного обучения могут прогнозировать изменения в потреблении энергии на основе исторических данных, погодных условий, времени суток и других факторов. Это позволяет операторам заранее готовиться к пиковым нагрузкам, оптимизировать работу генераторов и предотвращать перегрузки.

- *Предиктивное обслуживание.* МО используется для выявления паттернов, указывающих на возможные неисправности оборудования. Например, анализ вибраций трансформаторов или изменения температуры кабелей может сигнализировать о необходимости проведения технического обслуживания. Это сокращает время простоя и снижает расходы на аварийный ремонт.

- *Оптимизация распределения энергии.* ИИ анализирует данные о состоянии сети в реальном времени и предлагает наиболее эффективные маршруты передачи электроэнергии. Это минимизирует потери при передаче и улучшает общую производительность сети.

- *Обнаружение и предотвращение кибератак.* Системы ИИ могут отслеживать подозрительную активность в сетях, такую как необычные запросы или аномалии в данных, сигнализируя об угрозах безопасности. Это особенно важно в условиях растущей цифровизации, когда сети становятся более уязвимыми для хакеров.

- *Интеграция возобновляемых источников энергии.* МО помогает прогнозировать объем выработки энергии на солнечных и ветровых электростанциях, учитывая погодные данные. Это позволяет эффективно балансировать производство и потребление, минимизируя риски избыточной или недостаточной генерации.

4. Обеспечение кибербезопасности. Цифровизация электрических сетей несет в себе не только возможности, но и новые риски, связанные с кибербезопасностью. Использование интеллектуальных устройств и интеграция информационных технологий делают энергосистему более уязвимой для атак. Основные угрозы включают:

- *неавторизованный доступ к системам управления.* Это может привести к нарушению работы оборудования, отключению электроэнергии или даже повреждению инфраструктуры;

- *кражу данных.* Злоумышленники могут получить доступ к конфиденциальной информации, такой как данные потребителей или стратегические планы компании;

- *вредоносное программное обеспечение.* Атаки с использованием вирусов и программ-вымогателей могут парализовать работу всей системы.

С увеличением масштаба цифровизации необходимость в новых подходах к защите будет только возрастать. Развитие квантового шифрования, использование распределенных систем (blockchain) и интеграция ИИ в системы защиты станут основой обеспечения безопасности энергетических систем. Успешная реализация этих решений будет ключевым фактором для построения надежной и устойчивой энергосистемы будущего.

Примеры реализации цифровых технологий в энергетике

1. **Отечественный опыт.** В России цифровизация электрических сетей стала одной из стратегических целей государственной энергетической политики. Наиболее активно проекты цифровизации реализуются под руководством компании «Россети». В рамках программы цифровой трансформации до 2030 года предусмотрено внедрение технологий Smart Grid, автоматизированных систем управления и цифровых подстанций.

Цифровые подстанции. Внедрение цифровых подстанций позволяет повысить эффективность управления и снизить затраты на эксплуатацию. Например, в Московском регионе уже введены в эксплуатацию несколько цифровых подстанций, оснащенных современными системами диагностики и

удаленного управления. Это позволяет оперативно реагировать на изменения в сети и предотвращать аварийные ситуации.

Интеллектуальные системы учета. Программа «Умный учет» активно внедряется в различных регионах России. Умные счетчики обеспечивают точный контроль потребления электроэнергии, минимизируя риски потерь и воровства. По данным "Россети", внедрение таких систем позволило снизить коммерческие потери электроэнергии на 15–20% в пилотных проектах.

Системы мониторинга и управления. Внедряются системы мониторинга, которые позволяют в режиме реального времени отслеживать состояние ключевых объектов энергетической инфраструктуры. Например, в Сибири активно используется платформа мониторинга, обеспечивающая контроль за состоянием линий электропередачи в условиях экстремальных температур.

Интеграция возобновляемых источников энергии. В России все чаще используются технологии интеграции солнечных и ветровых электростанций в общую сеть. В Калмыкии и Адыгее построены современные ветропарки, оснащенные цифровыми системами управления генерацией, что обеспечивает стабильную подачу энергии в сеть.

2. Международный опыт. За рубежом цифровизация активно развивается в странах ЕС и США.

В США реализован масштабный проект Smart Grid в Калифорнии. Эта инициатива включает интеграцию солнечных электростанций с интеллектуальными сетями. Используются технологии прогнозирования потребления и автоматического управления распределением электроэнергии. Система позволяет значительно снижать потери, а также минимизировать отключения в случае аварий.

В Германии функционирует одна из самых развитых систем управления возобновляемой энергией. В рамках проекта Energiewende реализована платформа, обеспечивающая балансировку спроса и предложения, что особенно важно при высокой доле солнечных и ветровых источников в энергосистеме [6].

Норвегия и Швеция активно используют интеллектуальные счетчики и платформы управления распределением электроэнергии, что повышает прозрачность энергопотребления, позволяя пользователям адаптировать свое поведение для снижения затрат [7].

Вызовы и перспективы цифровизации электрических сетей

1. Необходимость значительных инвестиций. Процесс цифровизации требует значительных финансовых ресурсов. Это включает закупку интеллектуального оборудования, разработку сложного программного обеспечения, внедрение систем хранения данных, а также обучение персонала. Государственные субсидии и участие частного капитала помогают частично решить эту проблему, однако финансирование остается одним из самых крупных вызовов.

2. Обеспечение совместимости систем. Интеграция современных цифровых решений с уже существующими, зачастую устаревшими элементами инфраструктуры, представляет собой серьезную техническую задачу. Разные стандарты и несовместимость оборудования могут затруднить внедрение новых технологий. Для преодоления этих проблем необходима разработка универсальных протоколов и стандартов, которые обеспечат беспрепятственную интеграцию компонентов [8, 9].

3. Подготовка квалифицированных кадров. Цифровизация требует наличия специалистов с высоким уровнем знаний как в энергетике, так и в информационных технологиях. Образовательные учреждения постепенно внедряют новые программы подготовки, однако потребности рынка труда пока остаются неудовлетворенными, поэтому основой наиболее перспективного направления развития взаимоотношений технологических партнеров и университетов являются инвестиции в переподготовку сотрудников и создание учебных центров для повышения качества подготовки обучающихся.

Заключение

Цифровизация электрических сетей представляет собой стратегическое направление развития энергетики. Она позволяет повысить надежность, эффективность и экологичность энергоснабжения. Несмотря на существующие вызовы, цифровые технологии открывают широкие возможности для интеграции возобновляемых источников энергии и создания устойчивой энергетической системы будущего.

Список источников

1. International Energy Agency (IEA): Официальный сайт и публикации по теме цифровизации в энергетике. URL: <https://www.iea.org> (дата обращения: 15.12.2024).
2. World Economic Forum: Аналитические отчеты по цифровизации и устойчивому развитию энергосистем. URL: <https://www.weforum.org> (дата обращения: 15.12.2024).
3. Siemens Smart Infrastructure: Материалы о цифровых решениях для энергетики, включая Smart Grids и цифровые подстанции. URL: <https://new.siemens.com> (дата обращения: 15.12.2024).
4. General Electric (GE) Digital: Описание платформы Predix и других решений для управления энергосистемами. URL: <https://www.ge.com/digital> (дата обращения: 21.12.2024).
5. Россети: Официальный сайт и стратегия цифровой трансформации до 2030 года. URL: <https://www.rosseti.ru> (дата обращения: 20.12.2024).
6. Global Smart Grid Federation (GSGF): Данные о международных инициативах в области интеллектуальных сетей. URL: <https://www.globalsmartgridfederation.org> (дата обращения: 18.12.2024).
7. IEEE Xplore: Исследования и стандарты, включая IEC 61850, используемые в цифровых подстанциях. URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата обращения: 16.12.2024).
8. European Commission: Доклады по стратегии цифровизации и зеленой энергетике в ЕС. URL: <https://ec.europa.eu> (дата обращения: 13.12.2024).
9. McKinsey & Company: Статьи и прогнозы по цифровизации энергосетей и снижению затрат. URL: <https://www.mckinsey.com> (дата обращения: 10.12.2024).
10. MIT Technology Review: Материалы по использованию ИИ в энергетике. URL: <https://www.technologyreview.com> (дата обращения: 20.12.2024).

УДК 681.5

А. Н. Филиппова

студент кафедры электромеханики и робототехники

Н. В. Савельев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ SCARA-РОБОТОМ

Введение

Для повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции, в современном мире, необходимо увеличивать производительность, с одновременным уменьшением издержек. Одним из вариантов повышения производительности является автоматизация производства с применением в технологическом процессе роботизированных систем. В настоящее время есть несколько основных типов промышленных роботов, отличающихся между собой техническими характеристиками, основными из которых являются грузоподъемность, скорость и точность перемещения. SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm) робот по грузоподъемности относится к средним, легким и сверхлегким роботам, занимая особое место благодаря высокой скорости и точности позиционирования при выполнении технологических операций.

В настоящее время наша страна стремится к импортозамещению и одной из важных задач является замена импортного программного обеспечения и технических систем на отечественные, в том числе и в сфере робототехнических систем.

Цель

Разработка эффективной системы управления промышленными роботами в том числе и SCARA-роботом является одной из приоритетных и сложных, с точки зрения инженерии, задач. Необходимо не только заменить импортное программное обеспечение, но и повысить скорость и точность перемещения, гибкость интеграции в существующие и новые производственные процессы, устойчивость к внешним воздействиям. Все эти факторы делает тему исследования особенно актуальной.

Теоретическая основа

Роботизированные системы широко применяются в различных отраслях, таких как медицина, сфера обслуживания, космос, легкая и тяжелая промышленность и т. п., Роботы, применяемые в этих отраслях, можно разделить на два основных типа: сервисные и промышленные роботы.

В качестве примера применения промышленных роботов и выполняемых ими технологические операции, можно привести следующие области промышленности:

- 1) производство электроники:
 - установка компонентов;
 - сборка компонентов;
 - пайка компонентов;
- 2) пищевая промышленность:
 - упаковка продуктов;
 - сортировка;
- 3) автомобилестроение:
 - сборка компонентов;
 - сварка деталей кузова;
 - установка.

Промышленные роботы, применяемые в различных технологических процессах таких как: сборка, пайка, упаковка, сортировка и других подобных задачах, где требуется высокая производительность и точность выполнения применяются SCARA роботы.

SCARA роботы бывают разными по кинематическому исполнению, грузоподъемности, точности и т. п. SCARA роботов можно классифицировать по различным параметрам, одним из вариантов обобщенной классификации по характеристикам модели:

- 1) стандартные модели – для базовых задач, таких как перемещение и укладка;
 - 2) специализированные – пайка, сборка и т. п.;
 - 3) высокоскоростные роботы – для сборочных линий, где важны высокая скорость и повторяемость операций;
 - 4) с увеличенной грузоподъемностью – до 20 кг;
 - 5) компактные роботы – с рабочей длиной до 400 мм, идеальны для ограниченных пространств
- [3].

К преимуществам SCARA роботов можно отнести следующее:

- высокая точность позиционирования до $\pm 0,01$ мм;
- простота интеграции в различные производственные линии;
- выполнение сложных операций;
- высокая скорость перемещения до 9940 мм/сек;
- малая погрешность в повторяемости.

По сравнению с другими типами промышленных роботов, например, по сравнению с 6-осевыми промышленными роботами, SCARA роботы ограничены в возможностях перемещения в вертикальной плоскости, так как сегменты руки робота работают преимущественно в горизонтальной плоскости и не подходят для задач, где требуется перемещение рабочего органа по сложной траектории, например, для сварки, установки компонентов и т. п.

1 Архитектура системы управления

В основном SCARA робот – это робот с четырьмя степенями свободы, имеющий два привода для поворотов первого и второго сегментов руки робота, один установлен в сочленении двух рычагов и вращает их друг относительно друга, а второй установлен в основании первого рычага и вращает его относительно рабочей плоскости. Также имеется два привода для вертикального перемещения и поворота рабочего органа. Для обеспечения его функциональности необходима эффективная система управления, в которую входит аппаратное и программное обеспечение. В архитектуру системы управления SCARA-роботом входят следующие компоненты как:

1. Контроллер робота

Центральный управляющий элемент, который обрабатывает команды и координирует движение манипулятора.

Может быть на основе ПЛК (программируемого логического контроллера) или специализированного микроконтроллера.

Включает интерфейсы для связи с датчиками, приводами и оператором.

2. Приводы и двигатели

Серводвигатели или шаговые двигатели с энкодерами обеспечивают точное позиционирование звеньев манипулятора.

В SCARA-роботах обычно используются 2–3 оси вращения и одна ось вертикального перемещения (Z-ось).

3. Датчики и системы обратной связи

Энкодеры (оптические или магнитные) – определяют положение и скорость двигателей.

Датчики силы и момента – контролируют усилия при взаимодействии с объектами.

Лазерные, ультразвуковые или оптические датчики – используются для обнаружения препятствий и точного позиционирования.

4. Человеко-машинный интерфейс (HMI)

Панель оператора с экраном или программное обеспечение для ПК.

Позволяет задавать программы, следить за состоянием робота и диагностировать ошибки.

5. Программное обеспечение и алгоритмы управления

Интерпретатор команд (обычно в формате G-кода или специализированного языка, например, RAPID или KRL).

Алгоритмы планирования траекторий.

PID-регуляторы для управления положением и скоростью.

6. Система питания и электроника

Источники питания для контроллера, датчиков и приводов.

Блоки управления мощностью для защиты от перегрузок.

7. Средства связи и интерфейсы

Протоколы связи (EtherCAT, Modbus, CAN, RS-485) для интеграции в производственную среду.

Возможность подключения к SCADA-системам и IoT-платформам.

Также в систему управления SCARA-робота входит программная составляющая, обеспечивающая выполнения операций по координации движений, стабилизации, точности позиционирования и адаптацию к условиям окружающей среды. Для успешного выполнения операций системы управления требуется комплекс алгоритмов. Рассмотрим основные алгоритмы управления SCARA-роботом [2].

2 Алгоритмы управления

2.2 Кинематические алгоритмы

Кинематика лежит в основе управления любым роботизированным устройством. Для SCARA-робота алгоритмы кинематики решают задачи расчета положения рабочего органа и приведения звеньев в нужное состояние.

2.2.1 Прямая кинематика

Прямая кинематика вычисляет положение и ориентацию рабочего органа в рабочем пространстве на основе углов поворота звеньев и длины сегментов робота. Для SCARA с двумя вращательными и одной линейной степенями свободы используются уравнения прямой кинематики.

2.2.2 Обратная кинематика

Обратная кинематика решает задачу нахождения углов и смещения, необходимых для достижения заданной точки. Для SCARA-робота алгоритмы обратной кинематики могут быть аналитическими благодаря его простой конструкции. Эти расчеты позволяют планировать движение рабочего органа в пространстве.

2.3 Алгоритмы планирования траекторий

Для плавного и точного выполнения задач SCARA-робот должен следовать заданной траектории. Алгоритмы планирования траекторий определяют последовательность промежуточных точек и параметры движения:

1) Профили движения. Используются профили скорости и ускорения для минимизации рывков:

- трапецеидальный профиль скорости: плавное разгонное и тормозное движение;
- профиль синусоидальной скорости – обеспечивает минимальные рывки.

2) Интерполяция траекторий

Для создания плавного пути движения используются различные типы интерполяции:

- линейная интерполяция: прямолинейное движение между двумя точками;
- кривая В-сплайн: сглаживание пути для более плавного выполнения.

3) Обход препятствий. Алгоритмы обхода препятствий, такие как Rapidly-exploring Random Tree (RRT) или Wavefront, помогают адаптировать траекторию в динамически меняющейся среде.

2.4 Алгоритмы управления приводами

SCARA-роботы оснащены приводами (чаще всего серводвигателями) для движения звеньев. Алгоритмы управления приводами включают следующие компоненты:

1) ПИД-регуляторы (PID control). Основной метод управления приводами для достижения заданных углов звеньев.

2) Прогнозирующее управление MPC (Model Predictive Control) рассчитывает оптимальные управляющие действия на основе математической модели системы и текущего состояния робота.

3) Обратная связь. Данные с энкодеров используются для корректировки траектории и компенсации ошибок.

4) Алгоритмы динамического управления. Динамическое управление учитывает инерцию, трение и другие физические свойства системы. Для SCARA-роботов применяются следующие подходы:

2.5 Адаптивное и интеллектуальное управление.

Современные SCARA-роботы часто включают элементы машинного обучения и адаптации:

- 1) Реакция на внешние воздействия. Используются датчики силы и момента для реализации алгоритмов, таких как:
 - импедансное управление: робот адаптирует свое движение под воздействие внешних сил;
 - комплаенс-контроль: учитывает гибкость и деформации в системе;
- 2) Обучение с подкреплением (Reinforcement Learning). Робот обучается оптимальным траекториям выполнения задач, анализируя результаты действий;
- 3) Интеграция с системами компьютерного зрения. Использование камер позволяет роботу определять положение объектов и адаптировать траекторию в реальном времени.

3. Методы управления

Исследование методов управления роботами велось с момента появления роботов. За годы исследований методов управления были разработаны и описаны различные стратегии управления и контроля. Рассматривая устройство промышленного робота SCARA, который состоит из нескольких сегментов, механизма вертикального перемещения и поворота, соединенных между собой, при этом сегменты имеют существенно нелинейную динамику с сильной связью между ними, что усложняет задачу управления, особенно в условиях неопределенности модели или влияния внешних факторов.

Для достижения максимальной эффективности важно использовать алгоритмы планирования траекторий, что позволит оптимизировать движение робота, минимизируя время и избегая столкновений [5]. Наиболее популярные методы включают:

- линейное планирование: Простой метод, при котором робот движется по прямой линии к цели;
- кубическая интерполяция: позволяет создать более гладкие траектории, используя полиномы третьей степени;
- методы искусственного интеллекта: используются для адаптивного планирования траекторий на основе полученных данных [3].

4 Программное обеспечение

Разработка программного обеспечения для управления SCARA-роботом включает в себя несколько этапов. Основными из которых являются: выбор языка программирования, выбор среды разработки. Рассмотрим эти этапы.

4.1 Выбор языка программирования

Для разработки программного обеспечения можно использовать различные языки программирования, которые позволяют не только написать программу управления, но и предварительно смоделировать систему управления. Рассмотрим некоторые из них:

- C/C++: предоставляют возможность низкоуровневого программирования, что критично для управления двигателями [6];
- Python: Удобен для быстрого прототипирования и разработки интерфейсов [6];
- MATLAB/Simulink: широко используется для моделирования и симуляции систем управления [6].

4.2 Выбор среды разработки

Современные SCARA-роботы часто используют платформы, такие как ROS (Robot Operating System). Эта система предоставляет инструменты для создания сложных роботизированных систем и обеспечивает взаимодействие между компонентами.

Основной проблемой является недостаточная адаптивность существующих систем управления SCARA-роботами. Традиционные методы управления, такие как пропорционально-интегрально-дифференциальное (PID) регулирование, часто не справляются с требованиями современных производств, что проявляется в виде:

- неточных траекторий, особенно при сложной динамике,
- повышенного энергопотребления из-за неоптимальных алгоритмов управления,

– ограниченной масштабируемости, что делает такие системы дорогостоящими при модернизации.

Для решения данной проблемы предлагается разработать адаптивную систему управления SCARA-роботом на основе современных технологий. Основные этапы реализации включают:

1) Использование модели предиктивного управления (Model Predictive Control, MPC). Этот метод позволяет предсказывать поведение системы и корректировать траекторию движения робота в реальном времени. Это повысит точность выполнения задач при высоких скоростях;

2) Интеграция алгоритмов машинного обучения. Для адаптации системы управления под изменяющиеся условия производства предлагается использование алгоритмов обучения с подкреплением. Это поможет SCARA-роботу «учиться» на собственных ошибках и оптимизировать траектории;

3) Интеграция с внешними датчиками. Для улучшения точности и гибкости предлагается подключение системы машинного зрения и датчиков обратной связи, что позволит роботу анализировать внешнюю среду и адаптировать действия в реальном времени;

4) Оптимизация программного обеспечения. Разработка легковесных алгоритмов управления, работающих на современных микроконтроллерах и FPGA, обеспечит минимальные задержки и высокую устойчивость системы.

Заключение

Учитывая растущие потребности в автоматизации и повышении эффективности производства, SCARA-роботы остаются важными инструментами в современных промышленных системах.

Разработка системы управления SCARA-роботом – это многогранный процесс, требующий учета множества факторов. Важными аспектами являются выбор архитектуры, алгоритмов управления, программного обеспечения и интеграция современных технологий.

Разработка системы управления SCARA-роботом с использованием предиктивного управления, машинного обучения и интеграции с внешними системами позволит значительно повысить производительность, точность и адаптивность роботизированных систем. Это не только решит существующие проблемы, но и сделает SCARA-роботы более универсальными, готовыми к работе в условиях современных интеллектуальных производств.

Эта статья предоставляет общее представление о ключевых аспектах разработки системы управления SCARA-роботом и может служить основой для дальнейшего изучения темы.

Список источников

1. Пол Р. П., Зонг Ч. Introduction to robotics: mechanics and control. Pearson, 2018. 432 с.
2. Кузнецов А. А. Основы управления роботами: учеб. пособие. М., 2020. 280 с.
3. Лисов А. В. Робототехника: учебник для вузов. М., 2019. 356 с.
4. Голубев А. С. Системы управления роботами. М., 2021. 312 с.
5. Петров И. Н. Алгоритмы управления манипуляторами. М., 2020. 198 с.
6. Федоров Н. В. Программируемые логические контроллеры: теория и практика. М., 2019. 264 с.
7. Червоненко Н. В. Интернет вещей и робототехника // Инновации в робототехнике. 2022. № 1. С. 45–50.

УДК 620.92

А. Д. Хорубко

студент кафедры электромеханики и робототехники

В. П. Кузьменко – кандидат технических наук – научный руководитель

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ИСПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Введение

В условиях современного городского планирования уличное освещение становится одним из ключевых элементов обеспечения безопасности, эстетики и удобства проживания в городе. Традиционные системы освещения, подключенные к центральным электрическим сетям, сталкиваются с рядом проблем, включая высокие расходы на электрическую энергию, сложные процессы подключения и обслуживания, а также неэффективность использования энергии. В последние годы на фоне увеличения численности населения, роста цен на электричество и глобальных экологических изменений все чаще рассматриваются альтернативные решения, включая использование возобновляемых источников энергии, таких как солнечные панели, в комбинации с аккумуляторными батареями.

Целью данного исследования является анализ основных составляющих системы резервного питания уличного освещения с использованием аккумуляторных батарей и солнечных панелей, определение основных этапов и принципов построения таких систем, сравнение их с традиционными способами питания систем уличного освещения для определения преимуществ и недостатков.

Литературный обзор

В последние годы интерес к системам резервного питания уличного освещения, использующим аккумуляторные батареи и солнечные панели, значительно увеличился. Это связано с растущими требованиями к энергоэффективности. В литературе представлено множество исследований, посвященных этой теме, которые охватывают разные аспекты проектирования, внедрения и эксплуатации таких систем.

Одной из ключевых работ, рассматривающих аспекты проектирования систем уличного освещения на базе солнечных панелей и аккумуляторных батарей, является научная статья «Вопросы использования солнечных панелей для питания ламп уличного освещения», авторы Бондарев А.В. и Зверев В.А. [1]. В работе предлагается сравнительный анализ солнечных панелей и ламп уличного освещения при проектировании системы уличного освещения для учебных корпусов Кумертауского филиала ОГУ.

Также интересна статья В. А. Мургула «Солнечная энергетика в реконструкции городской исторической застройки Санкт-Петербурга» [2]. В ней рассматривается использование солнечной энергии для дополнительного энергоснабжения зданий и улучшения качества городской среды. Статья посвящена вопросам внешнего напряжения, включения технологии солнечной энергии в исторической среде Санкт-Петербурга, а также вопросам обеспечения эффективной работы систем солнечного энергообеспечения в условиях сверхплотной городской застройки Петербурга и климатических условий Северо-Западного региона.

Статья «Применение автономных систем освещения на базе солнечных модулей для парковых зон» авторов Четошниковой Л.М. и Гуськовой А.И. [3] посвящена исследованию возможностей внедрения солнечных панелей в системы освещения общественных парков. Обсуждаются преимущества, такие как снижение затрат на электроэнергию и экологическая устойчивость, а также рассматриваются технические аспекты и этапы реализации таких проектов. Авторы подчеркивают значимость использования возобновляемых источников энергии в городской инфраструктуре для улучшения качества жизни, повышения безопасности и создания комфортных условий для отдыха в парках. Кроме того, в статье представлены примеры успешного применения данных технологий, что подчеркивает их актуальность и перспективность в современных условиях.

Статья "Оценка возможности применения фотоэлектрических установок для электроснабжения уличного освещения в климатических условиях Сибири", написанная авторами Сурковым М. А. и Сумароковой Л. П., [4] рассматривает внедрение фотоэлектрических модулей и систем накопления энергии для обеспечения электричеством уличного освещения в суровых климатических условиях Сибири. В ходе исследования авторы демонстрируют техническую реальность реализации автономных систем освещения на примере учебного корпуса Технического университета. Основное внимание уделяется анализу солнечной инсоляции в зависимости от времен года для города Томска, выбору оптимального угла наклона панелей для максимального сбора энергии и обоснованию необходимого оборудования для солнечных систем. Кроме того, проведены детальные расчеты затрат на реализацию проекта и технико-экономическое сравнение различных вариантов исполнения, что позволило достоверно оценить эффективность использования фотоэлектрических панелей в данной климатической зоне. Авторы приходят к убедительным выводам о целесообразности применения возобновляемых технологий в уличном освещении, способствуя развитию устойчивой энергетики в регионе.

Статья под названием "Имитационная модель режимов работы автономной фотоэлектрической станции с учетом реальных условий эксплуатации", авторы которой – Обухов С. Г. и Плотников И. А. [5], рассматривает значимость прогресса в области фотоэлектрических технологий, которые способны реализовать огромный и доступный потенциал солнечной энергии. Одной из главных сложностей автономных энергетических систем является необходимость эффективного согласования производственных и потребительских режимов энергии, что, в свою очередь, требует тщательного определения энергетического баланса с высокой временной дискретизацией. С учетом сложных нелинейных характеристик компонентов фотоэлектрических станций и их зависимости от внешних факторов, авторы создали имитационную модель, способную моделировать рабочие режимы таких систем с учетом реалий эксплуатации. Эта модель, разработанная в программной среде MatLab/Simulink, включает шесть основных компонентов: модель солнечной радиации, солнечная батарея, контроллер заряда, аккумулятор, инвертор и электрическая нагрузка. В результате, она предоставляет возможность масштабируемых исследований и учитывает влияние климатических условий на производительность солнечных панелей, что значительно улучшает точность прогнозов по выработке электроэнергии.

В работе "Методика оценки энергии солнечного излучения для фотоэлектростанции", написанной Дмитриенко В. Н. и Лукутиным Б. В., [6] авторы обращаются к актуальной проблеме автономной электрофикации объектов нефтегазовой отрасли. Представленная в исследовании методика расчета солнечной энергии направлена на повышение точности моделирования инсоляции при разработке автономных электроснабжающих систем, основанные на фотоэлектрических станциях. Эта методика позволяет моделировать работу всех элементов автономной фотоэлектрической станции с высокой степенью детализации, используя часовой интервал дискретизации, что существенно повышает точность анализа энергоснабжения. В исследованиях были использованы программные пакеты PVsyst и Excel, а также метеоданные NASA и Meteonorm, что обеспечило достоверность полученных результатов. Благодаря разработанной методике удалось определить энергетический потенциал солнечного излучения, основываясь на понятии "характерных суток", что привело к созданию почасовой зависимости мощности солнечного излучения для каждого месяца. Благодаря этому подходу стало возможным оптимизировать взаимодействие компонентов автономных гибридных комплексов, таких как солнечно-дизельные станции, а также оценить нагрузки на дизельные электростанции в течение года и планировать объемы необходимого дизельного топлива. Эта точность была подтверждена тестированием на реальной фотоэлектростанции, где относительная погрешность составила около 10 % в оценке годовой выработки электроэнергии.

Преимущества и недостатки солнечных систем уличного освещения

Использование солнечных панелей и аккумуляторных батарей для уличного освещения представляет множество преимуществ.

Экономия денежных средств. Одним из основных плюсов солнечного освещения является снижение затрат на электроэнергию. Системы, работающие на солнечной энергии, позволяют значительно сократить счета за электричество, что особенно актуально для муниципалитетов. По данным исследо-

ваний, реализованные модели солнечного уличного освещения могут вернуть первоначальные инвестиции за счет экономии на энергии в течение 5–7 лет.

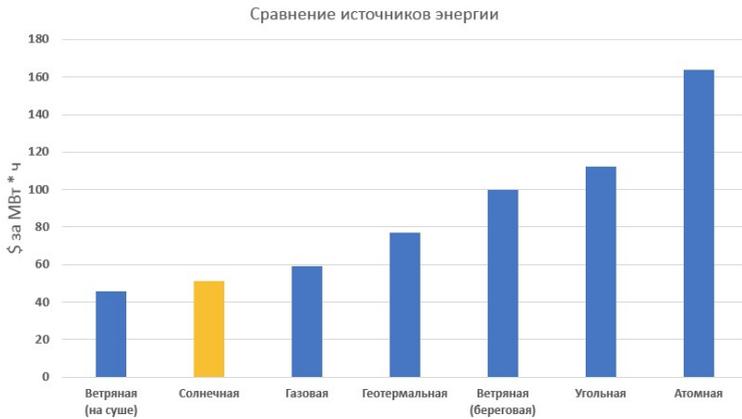


Рис. 1. Сравнение стоимости одного MВт*ч различных источников энергии [7]



Рис. 2. Карта инсоляции России [11]



Рис. 3. Преимущества и недостатки солнечных панелей

Солнечные панели предоставляют возможность использовать чистую возобновляемую энергию, что ведет к снижению углеродных выбросов и уменьшению нагрузки на традиционные источники энергии. Это особенно важно в контексте глобальных изменений климата и политики устойчивого развития. Переход на солнечные технологии может сократить выбросы CO₂ минимум на 30% в городских условиях [8]. Системы уличного освещения с солнечными панелями могут функционировать независимо от центрального электроснабжения, что позволяет их использовать в удаленных и труднодоступных районах. Это также снижает риски, связанные с отключениями электричества и авариями на электросетях [9]. Современные солнечные системы требуют значительно меньше обслуживания по сравнению с традиционными системами. Срок службы солнечных панелей составляет до 25 лет, а аккумуляторов – от 5 до 15 лет в зависимости от типа и эксплуатации [10]. Регулярная замена ламп, как это происходит в стандартных системах, также минимизируется, что снижает затраты на обслуживание.

Несмотря на свои многочисленные преимущества, солнечные системы имеют и несколько значительных недостатков.

Производительность солнечных панелей напрямую связана с количеством солнечной радиации. В облачные или дождливые дни, а также в зимний период, когда дни становятся короче, эффективность таких систем может снижаться, что делает их менее надежными как единственный источник энергии.

Другим важным недостатком является необходимость в большом пространстве для установки солнечных панелей. Для достижения значительных объемов генерации энергии требуется значительная площадь, что может быть проблемой в густонаселенных городах или в местах с ограниченным пространством для установки. Это может ограничить возможности земельного использования, особенно в случае, если речь идет о крупных солнечных фермах.

Также стоит упомянуть вопрос утилизации солнечных панелей. Хотя большинство компонентов панелей можно переработать, процесс утилизации все еще требует значительных усилий и технологий. На сегодняшний день не все страны разработали эффективные программы утилизации, что приводит к накоплению отходов.

Сравнение солнечных систем и традиционных систем генерации электричества

Одним из наиболее значимых преимуществ солнечных систем является их экологическая чистота. Солнечные панели генерируют электричество без выбросов углерода и других загрязняющих веществ во время работы, что делает их более устойчивыми и полезными для окружающей среды по сравнению с угольными или газовыми электростанциями, которые часто загрязняют атмосферу и способствуют изменению климата. Традиционные источники энергии также требуют значительных объемов воды для охлаждения, в то время как солнечные установки, за исключением некоторых технологий, таких как солнечные тепловые системы, требуют гораздо меньше воды в процессе генерации.

С другой стороны, традиционные способы производства электроэнергии, такие как газовые и угольные станции, обеспечивают стабильную и предсказуемую генерацию электроэнергии, что делает их более надежными в условиях постоянного спроса. Солнечные системы зависят от условий освещения и времени года, что приводит к непостоянству в производстве энергии. Это означает, что в зависимости от климата и времени суток, эффективность солнечных панелей может существенно варьироваться. Для решения этого вопроса, необходимы системы хранения энергии, такие как аккумуляторы, которые, хотя и становятся все более доступными и эффективными, все же увеличивают затраты на солнечную энергетику.

Технические характеристики и конструкции систем

Типичная система уличного освещения на солнечной энергии состоит из следующих компонентов:

1. Солнечные панели. Они являются основным источником энергии, преобразующем солнечное излучение в электрическую энергию. Наиболее распространены кремниевые панели, которые предлагают высокую эффективность и долгий срок службы. Преобразование солнечного излучения в электрическую энергию называется фотоэффектом. Этот процесс можно разбить на несколько ключевых этапов, подробно описывающих, как именно работает солнечная панель.

Первым шагом является поглощение солнечного света. Солнечные панели состоят из большого количества фотоэлектрических ячеек, обычно сделанных из поликристаллического или монокристаллического кремния. Эти материалы имеют уникальные свойства, позволяющие им поглощать фотоны – частицы света. Когда солнечный свет попадает на поверхность панели, его энергия передается кремниевым атомам.

На следующем этапе происходит возбуждение электронов. Когда фотон с достаточной энергией взаимодействует с атомом кремния, он может передавать свою энергию электрону, придавая ему достаточную энергию для того, чтобы преодолеть притяжение ядра атома и освободить его из его орбиты. Этот процесс создает так называемые «свободные электроны», которые могут двигаться по материалу.

Третьим этапом является создание электрического поля. Внутри солнечных ячеек создается электрическое поле, которое образуется за счет разности между заряженными слоями. Обычно в ячейках используется два слоя кремния: один, легированный примесями вещества, такими как фосфор (для создания *n*-области с избытком электронов), и другой, легированный бором (для создания *p*-области с избытком дырок). Это создает электрическое поле, которое действует на свободные электроны, направляя их к *n*-области, а дырки – в сторону *p*-области. Эти движения создают поток электрического тока.

Четвертым этапом является преобразование и передача электроэнергии. Освобожденные электроны, перемещающиеся через проводники, подключенные к солнечной ячейке, создают постоянный электрический ток. Этот ток затем может быть направлен в инвертор, который преобразует его из постоянного тока в переменный, подходящий для питания бытовых приборов и подключения к электросетям.

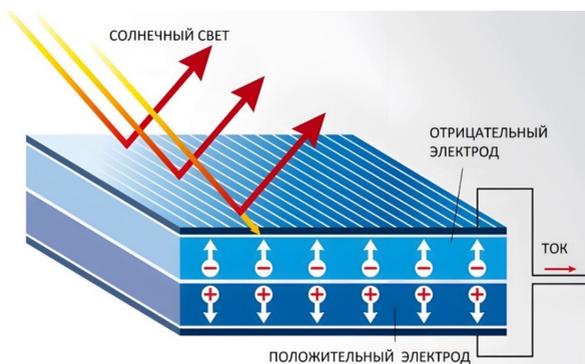


Рис. 4. Работа солнечной панели [12]

2. Контроллер заряда. Этот элемент управляет процессом заряда и разряда аккумуляторов, предотвращая их перезаряд и перерасход. Современные контроллеры также могут интегрироваться с датчиками освещенности, которые автоматически включают и выключают освещение в зависимости от уровня естественного света.

3. Аккумуляторы. Они служат для хранения избыточной энергии, полученной в течение дня, чтобы освещение могло работать и в ночное время. Наиболее часто используются свинцово-кислотные и литий-ионные аккумуляторы, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки в зависимости от применения.

4. Светодиодные источники света. LED-лампы обеспечивают высокую яркость при низком энергопотреблении, что делает их идеальными для уличного освещения. Современные светодиоды также могут иметь регулируемую яркость, что позволяет экономить электроэнергию.



Рис. 5. Типичная система снабжения дома солнечной энергией [13]

Заключение

Системы уличного освещения с использованием солнечных панелей и аккумуляторов представляют собой устойчивое решение, способствующее не только снижению затрат на электроэнергию, но и защищающему окружающую среду. Технологические достижения и успешные примеры реализации таких систем в России служат сигналом для других городов о необходимости перехода на более экологичные и экономически эффективные решения в сфере уличного освещения. При проектировании системы с использованием солнечных панелей необходимо учитывать инсоляцию данной местности, а также желательно иметь резервные источники энергии и аккумуляторы для хранения избытков солнечной энергии. Стоимость солнечной энергии меньше чем стоимость энергии добываемой традиционными источниками энергии.

Список источников

1. Бондарев А. В., Зверев В. А. Технические науки – от теории к практике. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voprosy-ispolzovaniya-solnechnyh-paneley-dlya-pitaniya-lamp-ulichnogo-osvescheniya/viewer> (дата обращения: 10.03.2025).
2. Мургул В. А. Архитектура и современные информационные технологии. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnaya-energetika-v-rekonstruktsii-gorodskoy-sredy-istoricheskoy-zastroyki-sankt-peterburga/viewer> (дата обращения: 11.03.2025).
3. Четошニコва Л. М., Гуськова А. И. Ползуновский вестник. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnaya-energetika-v-rekonstruktsii-gorodskoy-sredy-istoricheskoy-zastroyki-sankt-peterburga/viewer> (дата обращения: 11.03.2025).
4. Сурков М. А., Сумарокова Л. П. Вестник евразийской науки. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vozmozhnosti-primeniya-fotoelektricheskikh-ustanovok-dlya-elektrosnabzheniya-ulichnogo-osvescheniya-v-klimaticheskikh/viewer> (дата обращения: 12.03.2025).
5. Обухов С. Г., Плотноков И. А. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/limitatsionnaya-model-rezhimov-raboty-avtonomnoy-fotoelektricheskoy-stantsii-s-uchetom-realnyh-usloviy-ekspluatatsii/viewer> (дата обращения: 11.03.2025).
6. Дмитриенко В. Н., Лукутин Б. В. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-energii-solnechnogo-izlucheniya-dlya-fotoelektrostantsii/viewer> (дата обращения: 11.03.2025).
7. Солнечная энергетика: перспективы. URL: <https://portal.invest-heroes.ru/feed/solnechnaya-energetika-perspektivy/> (дата обращения: 11.03.2025).
8. Институт энергетики. URL: <https://energy.hse.ru/Wiie>. (дата обращения: 10.03.2025).

9. Степанов М. В., Стульгинский М. М. Вестник науки. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/solnechnye-paneli-effektivnoe-reshenie-dlya-ekologicheski-chistoy-energetiki/viewer> . (дата обращения: 11.03.2025).
10. Технические характеристики солнечных модулей. URL: <https://s-ways.ru/blog/faq/7301.html> (дата обращения: 10.03.2025).
11. Сайт о солнечных батареях и ветряках. URL: <https://nova-sun.ru/insolyatsiya-v-rossii> (дата обращения 10.03.2025).
12. Как работают солнечные панели. URL: <https://znanie-svet.ru/kak-robotayut-solnechnyye-paneli/> (дата обращения: 11.03.2025).
13. Солнечная энергия и солнечные электростанции. URL: <https://rina.pro/materials/solnechnaya-energija-i-solnechnye-elektrostantsii> (дата обращения: 11.03.2025).

УДК 621.314

А. Е. Храмов, Н. М. Петухов, А. А. Чугров

младшие научные сотрудники молодежной научно-исследовательской лаборатории по разработке перспективных систем накопления энергии,

В. В. Соколов – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО НАПЯЖЕНИЯ

Введение

В настоящее время ввиду ускоряющегося процесса цифровизации экономики, промышленности и социальной среды в целом наблюдается устойчивый рост спроса на оборудование и устройства, содержащие в своем составе электронные компоненты [1]. Вычислительные и информационные центры обработки, хранения данных, системы управления производственным процессом, цифровое медицинское оборудование и широко известные смартфоны, фото- и видеотехника содержат в своем составе большое количество интегральных микросхем, микроконтроллеров, которые характеризуются малым энергопотреблением. Для работы таких элементов требуются напряжения 1,2; 1,5; 2,4; 3,0; 5,0В [2], в то время как выходное рабочее напряжение основного блока питания может составлять 12...48В. Для согласования напряжения питающей сети с выходным пониженным постоянным напряжением широко применяются широтно-импульсные преобразователи (ШИП) [3].

Понижающий ШИП как основа работы цифровых устройств

Структурная схема понижающего ШИП с цифровым управлением показана на рис. 1.

Полный цикл работы понижающего ШИП можно разделить на два этапа. Вначале импульс управления подается на транзистор VT (рис. 1), ток начинает протекать по контуру «плюс источника питания $U_n \rightarrow$ транзистор $VT \rightarrow$ дроссель $L \rightarrow$ сопротивление нагрузки R_n ». Имеет место быть процесс накопления электрической энергии в индуктивно-емкостном контуре, состоящем из дросселя L и выходного электролитического конденсатора C_2 . Поскольку напряжение на катушке индуктивности имеет положительную полярность, ток возрастает.

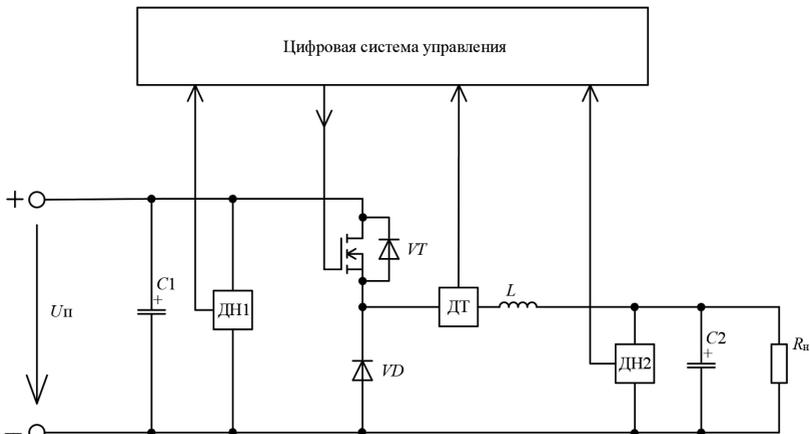


Рис. 1. Понижающий импульсный преобразователь с цифровой системой управления

На втором этапе транзистор VT закрывают и ток под воздействием электродвижущей силы самоиндукции дросселя L замыкается по контуру «дроссель $L \rightarrow$ сопротивление нагрузки $R_n \rightarrow$ диод VD ». Поскольку напряжение на катушке индуктивности L отрицательно, поэтому ток убывает, и энергия, запасенная в ней, передается в нагрузку. Входной конденсатор $C1$ исполняет роль емкостного фильтра.

Таким образом, входное напряжение U_n понижается до необходимой величины, которая требуется нагрузкой R_n . Регулирование выходного напряжения и тока осуществляется посредством изменения коэффициента D заполнения широтно-импульсного сигнала управления транзистором по сигналам с датчика входного напряжения (ДН1), датчика тока дросселя (ДТ) и датчика выходного напряжения нагрузки (ДН2). Указанные выше сигналы поступают в цифровую систему управления, которая реализована на базе микроконтроллера.

Цифровая обработка сигналов с датчиков тока и напряжений

Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые в микроконтроллере применяется модуль аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [4]. В широко известном микроконтроллере фирмы *STMicroelectronics* серии *STM32F429ZIT6* [5] регистр данных модуля АЦП имеет двенадцать разрядов. На вход ножки данного микроконтроллера допустимо подавать напряжение в диапазоне $0 \dots 3,3В$. Этот диапазон аналоговых значений посредством АЦП преобразуется в безразмерные числа $0 \dots 4095$. Для преобразования этих значений в относительные единицы, необходимо получаемые после оцифровки данные поделить на максимальное значение $ADC_{max} = 4095$. Таким образом входной сигнал обратной связи по току / напряжению будет изменяться от нуля до единицы. В этом же диапазоне должен находиться и задающий сигнал.

Стоит обратить внимание, что при использовании в качестве датчика тока или напряжения измерителей на базе элементов Холла, выходной сигнал датчика будет смещен относительно нуля на некоторое значение. Например, датчик тока фирмы *LEM* при отсутствии тока в цепи формирует на своем информационном выводе напряжение величиной $2,5В$. При оцифровке этого напряжения в регистре АЦП будет число $ADC_{data} = 3102$. В результате диапазон изменения обезличенных единиц сократится до $3102 \dots 4095$. В этом случае для перехода от обезличенных к относительным единицам необходимо из получаемых данных вычесть относительный ноль (3102) и результат поделить на 993 . Таким образом мы вновь получим требуемое изменение сигнала обратной связи в диапазоне $0 \dots 1$.

Формирование цифрового контура регулирования тока

Дальнейший путь прохождения цифрового сигнала «внутри» микроконтроллера и его физическое преобразование в виде управляющих импульсов широтной модуляции отражает рис. 2.

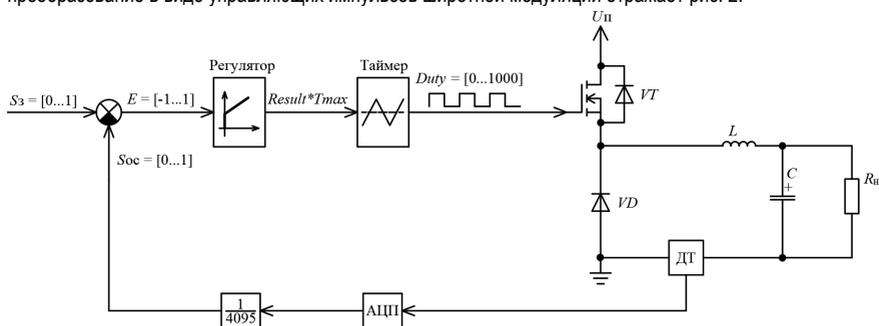


Рис. 2. Цифровой контур управления транзистором понижающего ШИП

Из рис. 2 видно, что на вход сумматора поступает сигнал задания S_z и сигнал обратной связи S_{oc} . Выходным сигналом сумматора является ошибка $E = S_z - S_{oc}$, которая может изменяться в диапазоне $(-1 \dots 1)$. Поэтому при программном вычислении сигнала рассогласования E необходимо, чтобы

тип переменной поддерживал работу с отрицательными значениями. Таким типом числовых данных является *float*. Сигнал ошибки E поступает на вход пропорционально-интегрального регулятора, в котором формируется результирующий сигнал $Result = K_p \cdot E + (I_{last} + E \cdot K_i)$; где K_p – коэффициент пропорциональной части регулятора, K_i – коэффициент интегральной части регулятора, I_{last} – предыдущее накопленное значение интегральной ошибки регулятора.

Аппаратный модуль «Таймер» (на рис. 2) формирует цифровой опорный сигнал треугольной формы, который изменяется в обозначенных единицах от нуля до тысячи (рис. 3). Сигнал регулятора $Result$ будет находиться в диапазоне $0 \dots 1$, поэтому для приведения значений переменной $Result$ к диапазону $0 \dots 1000$ необходимо умножить выходной сигнал регулятора на максимальное число, которое может быть записано в регистр таймера – в нашем случае $Tmax = 1000$. Таким образом, получившееся после умножения число будет определять уровень постоянного сигнала $Pulse$, который, поступая в модуль таймера, будет сравниваться с пилообразным сигналом $CNT(t)$ с амплитудой ARR (рис. 3).

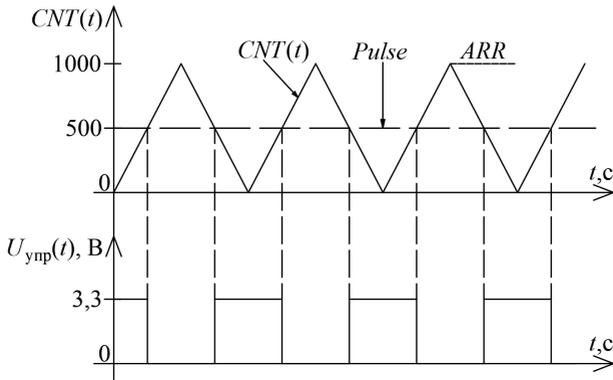


Рис. 3. Формирование широтно-импульсного сигнала таймером микроконтроллера

На выходе модуля «Таймер» (рис. 2), а точнее – на ножке микроконтроллера, будет сформирован управляющий широтно-импульсный сигнал $U_{упр}(t)$ амплитудой 3,3В, который через специализированный драйвер (на рис. 2 не показан) подается на затвор транзистора VT . Изменение коэффициента заполнения D широтно-импульсного сигнала осуществляется сигналом рассогласования на входе регулятора при изменении сигнала отрицательной обратной связи Soc , либо задающего сигнала Sz . Создание цифрового контура регулирования напряжения производится по структуре, аналогичной рассмотренной на рис. 2.

Особенности работы регулятора тока

Система регулирования как правило многоконтурная и может быть построена с параллельными контурами регулирования или последовательными (по подчиненному принципу). При подчиненном регулировании внутренним является контур тока. При формировании сигнала на выходе регулятора тока необходимо согласовать моменты оцифровывания аналогового сигнала с датчика тока и формирования выходного сигнала регулятора тока. При разработке и реализации макета понижающего ШИП было предложено запускать работу модуля АЦП в режиме прерывания от таймера. Поясим суть данного алгоритма с помощью диаграмм, приведенных на рис. 4.

На диаграмме тока дросселя $i_L(t)$ (на рис. 4) видно, что на интервале открытого состояния транзистора, когда $U_{упр}(t) = 3,3$ В, ток катушки индуктивности нарастает, а на интервале закрытого состояния транзистора происходит спад тока $i_L(t)$. Модуль таймера микроконтроллера формирует сигналы прерывания $TIM_{int}(t)$ в моменты достижения содержимого регистра CNT своего наибольшего (1000) или наименьшего (0) значений. По сигналам $TIM_{int}(t)$ запускается модуль АЦП и генерируется сигнал АЦП_{изм}(t) на выполнение оцифровывания тока дросселя $i_L(t)$. При этом, как показывает рис. 4, в момент 266

оцифровки величина тока дросселя будет приблизительно равна его среднему значению i_{Lcp} . Отпадает необходимость в постоянной работе модуля АЦП и определения среднего арифметического накопленных в регистре данных АЦП значений тока дросселя $i_L(t)$. Тем не менее, в условиях практического применения данного алгоритма, в момент измерения модулем АЦП тока дросселя возможны импульсные помехи, поэтому для точного определения среднего значения i_{Lcp} целесообразно применять медианный фильтр [6].

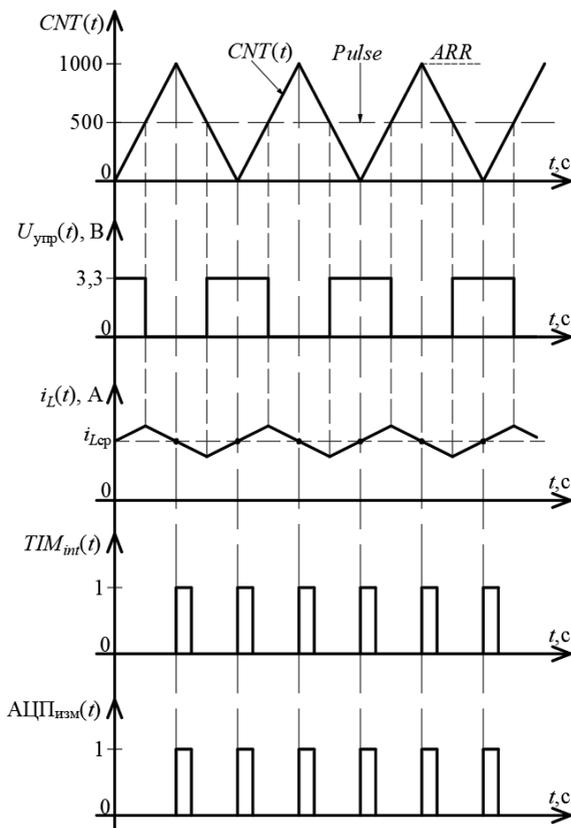


Рис. 4. Согласование работы АЦП с генерацией широтно-импульсного сигнала

Таким образом, при применении рассмотренного алгоритма работы модуля «Таймер» и АЦП, расчет сигнала рассогласования для регулятора тока дросселя будет производиться дважды за период широтно-импульсного сигнала, а именно, при нулевом и максимальном значении опорного сигнала $CNT(t)$, что обеспечивает работу регулятора тока с частотой широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Предложенный алгоритм был реализован на основе исследовательского макета понижающего ШИП с цифровым управлением на основе микроконтроллера *STM32F429ZIT6* [5]. Пример отработки контуром тока скачкообразного задающего сигнала отражает осциллограмма тока дросселя $i_L(t)$, показанная на рис. 5.



Рис. 5. Осциллограмма переходного процесса тока дросселя

Заключение

На основании изложенной процедуры синтеза цифровой системы управления понижающим ШИП можно выделить следующие основные рекомендации:

- при обработке сигналов с датчиков тока или напряжения необходимо активировать модуль АЦП в режиме прерываний от модуля таймеров микроконтроллера;
- генерация прерываний должна производиться дважды за период ШИМ, чтобы заблаговременно формировать сигналы рассогласования на входе регуляторов тока и напряжения. В этом случае частота работы регулятора совпадает с частотой генерации управляющих импульсов на транзистор;
- для обеспечения точного определения среднего значения тока дросселя целесообразно применять медианный фильтр, позволяющий исключить импульсные помехи в канале измерения тока.

Работа выполнена в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (тема № FSWE-2025-0002).

Список источников

1. Отчет о размере и тенденциях мирового рынка электронных компонентов на период 2024-2031 гг. URL: <https://www.kingsresearch.com/ru/electronic-components-market-1097> (дата обращения: 07.03.2025).
2. ГОСТ 17230-71 Микросхемы интегральные. Ряд питающих напряжений. М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1971. 3 с.
3. Михеенко А. Е. Импульсные DC-DC преобразователи // Science Time. 2017. № 1 (37). С. 277–280.
4. Реализация виртуального осциллографа на базе микроконтроллера STM32 / В. М. Дмитриев, Л. А. Гембух, А. Е. Сахабутдинов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2022. Т. 22. № 4. С. 67–75.
5. Техническая документация микроконтроллеров серий STM32F427 и STM32F429. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f427vg.pdf> (дата обращения: 08.03.2025).
6. Design of a 2D median filter with a high throughput FPGA implementation / A. Goel, M. O. Ahmad, M. N. S. Swamy // IEEE 62nd Int. Midwest Symp. on Circuits and Systems (MWSCAS). 2019. P. 1073–1076. DOI: 10.1109/MWSCAS.2019.8885009.

УДК 004.8

А. Л. Чугунов

ученик 11-го класса школы № 489

И. С. Воробьев – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель**МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ**

Машинное обучение представляет собой одну из самых динамично развивающихся областей искусственного интеллекта. В отличие от классического программирования, где человек явно формулирует правила и логические цепочки, машинное обучение предлагает совершенно иной подход: алгоритмы способны самостоятельно извлекать знания из данных, адаптироваться к новым условиям и совершенствовать свои навыки без прямого вмешательства человека. Это открывает уникальные возможности для создания систем, которые могут решать задачи, ранее считавшиеся доступными только человеческому разуму.

Суть машинного обучения заключается в том, что система анализирует огромные массивы информации, выявляя в них сложные закономерности, которые зачастую остаются незаметными для человеческого глаза. Эти закономерности затем используются для построения математических моделей, которые становятся основой для принятия решений или прогнозов. Например, такие модели могут определять, является ли электронное письмо спамом, предсказывать стоимость недвижимости на основе множества факторов или даже группировать пользователей по их интересам. Каждая из этих задач требует уникального подхода, но все они объединены общей идеей: данные – это ключ к пониманию и решению проблемы.

Машинное обучение условно можно разделить на три основных направления, каждое из которых имеет свои особенности и области применения.

Обучение с учителем напоминает процесс обучения ученика под руководством наставника. Алгоритму предоставляются данные, уже снабженные "правильными ответами" – метками. Например, если задача состоит в распознавании кошек на фотографиях, то обучающий набор будет включать изображения с четкими указаниями: "здесь есть кошка" или "здесь кошки нет". Алгоритм учится на этих примерах и постепенно начинает самостоятельно делать точные прогнозы для новых, ранее неизвестных данных. Примеры задач включают классификацию (например, определение эмоций на лицах людей) и регрессию (например, предсказание уровня загрязнения воздуха).

Обучение без учителя принципиально отличается тем, что данные не имеют меток, и алгоритму предстоит самостоятельно найти скрытые структуры или закономерности. Представьте, что вам дали огромный набор покупательских данных, но не сказали, как их классифицировать. Алгоритм может, например, выделить группы клиентов с похожим поведением: одни предпочитают покупать органические продукты, другие тратят больше на технологии. Этот подход особенно полезен, когда заранее неизвестно, какие категории или группы существуют в данных. Примеры задач включают кластеризацию (группировку объектов) и снижение размерности данных.

Обучение с подкреплением можно сравнить с обучением собаки с помощью системы наград и наказаний. Алгоритм взаимодействует с окружающей средой, совершая действия и получая обратную связь в виде наград или штрафов. Его цель – научиться принимать решения, которые максимизируют общую награду. Например, робот может учиться ходить, пробуя различные движения и получая награду за успешные попытки. Этот подход широко используется в играх (например, обучение ИИ играть в шахматы), робототехнике и даже в управлении сложными системами, такими как беспилотные автомобили [1].

Машинное обучение уже стало неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, хотя мы часто этого не замечаем. Рекомендательные системы, такие как те, что используются Кинопоиском для подбора фильмов, или VK Музыкой для создания плейлистов, работают именно на основе машинного обучения. В медицине алгоритмы помогают диагностировать болезни на ранних стадиях, анализируя медицинские изображения или данные пациентов. В финансовой сфере машинное обучение используется для прогнозирования рыночных трендов, выявления мошенничества и управления рисками. Авто-

номные транспортные средства, такие как беспилотные автомобили, также полагаются на машинное обучение для безопасного передвижения в реальном времени.

Одной из ключевых особенностей машинного обучения является его способность к самообучению и адаптации. Система не просто выполняет заранее запрограммированные действия, а постоянно улучшает свои результаты, получая новые данные. Это делает машинное обучение невероятно мощным инструментом для решения задач в условиях большого объема полученной для обработки информации или для автоматизированной работы без участия человека.

Машинное обучение изнутри. Компоненты и устройство

Машинное обучение как научная дисциплина и технологический процесс представляет собой сложную систему, состоящую из множества взаимосвязанных элементов. Каждый из этих элементов выполняет свою уникальную функцию, обеспечивая создание и работу систем искусственного интеллекта. Ниже мы рассмотрим основные компоненты машинного обучения, уделив особое внимание видам моделей, которые являются ключевым звеном этого процесса.

Основные процессы обработки данных с помощью машинного обучения [2]:

1) Данные (Data) – это фундамент, на котором строится все машинное обучение. Без данных невозможно обучить модель или заставить ее делать осмысленные выводы. Они могут быть представлены в структурированной форме, такой как таблицы или базы данных, либо в неструктурированной форме, например, тексты, изображения, аудиофайлы или видео.

В процессе машинного обучения данные разделяются на три основные категории. Обучающая выборка используется для обучения модели: именно на этом наборе данных алгоритм учится находить закономерности и настраивать свои параметры. Валидационная выборка служит для подбора гиперпараметров модели и проверки ее производительности на этапе разработки, помогая избежать переобучения. Тестовая выборка применяется на финальном этапе оценки модели, чтобы проверить, насколько хорошо она справляется с новыми, ранее неизвестными ей данными.

2) Модель (Model) – это математическая или алгоритмическая конструкция, которая преобразует входные данные в выходные результаты. Модели могут быть простыми, такими как линейные уравнения, или сложными, например, глубокие нейронные сети. Поведение модели определяется ее параметрами, которые настраиваются в процессе обучения. Существует несколько видов моделей, каждая из которых применяется для решения определенных задач. Линейные модели, такие как линейная регрессия и логистическая регрессия, используются для задач регрессии и классификации. Деревья решений, например, CART и ID3, разбивают данные на подмножества, используя иерархическую структуру решений. Ансамбли моделей, такие как случайные леса и градиентный бустинг, комбинируют несколько моделей для повышения точности и устойчивости. Методы кластеризации, включая k-средних и иерархическую кластеризацию, применяются для группировки данных на основе их схожести. Нейронные сети, вдохновленные биологическими нейронными сетями, включают многослойные перцептроны, сверточные нейронные сети и рекуррентные нейронные сети. Генеративные модели, такие как генеративно-состязательные сети и вариационные автокодировщики, способны создавать новые данные, похожие на обучающие. Модели обучения с подкреплением, например, Q-обучение и глубокие Q-сети, обучаются через взаимодействие со средой и получают обратную связь в виде наград или штрафов.

3) Алгоритм обучения (Learning Algorithm). Алгоритм обучения – это метод, который настраивает параметры модели на основе данных. Например, в обучении с учителем часто используется метод градиентного спуска для минимизации функции потерь.

4) Функция потерь (Loss Function). Функция потерь измеряет, насколько предсказания модели отличаются от истинных значений. Главная цель обучения заключается в минимизации этой функции, чтобы модель давала более точные прогнозы.

5) Оптимизация (Optimization). Процесс оптимизации направлен на поиск таких параметров модели, которые минимизируют функцию потерь. Для этого могут использоваться различные методы, такие как стохастический градиентный спуск (SGD).

6) Оценка модели (Evaluation). После завершения обучения модель оценивается на тестовых данных. Для этого используются метрики, такие как точность (accuracy), F1-мера, среднеквадратичная ошибка (MSE) и другие, в зависимости от типа задачи.

7) Прогнозирование (Inference). На этом этапе обученная модель применяется для предсказания на новых, ранее неизвестных данных. Это завершающий шаг, где модель демонстрирует свои возможности в реальных условиях.

Каждый из этих компонентов играет важную роль в процессе машинного обучения, обеспечивая его эффективность и точность.

Анализ использования машинного обучения. Сферы, подходящие для его использования

Машинное обучение представляет собой одну из наиболее перспективных технологий современности, которая уже активно применяется в различных сферах и продолжает расширять свои границы. Ее способность анализировать данные, находить закономерности и делать прогнозы делает ее незаменимым инструментом для решения сложных задач.

Алгоритмы машинного обучения активно используются для анализа медицинских изображений, таких как рентгеновские снимки, МРТ и КТ. Они изучают эти данные для выявления раковых опухолей, заболеваний сердечно-сосудистой системы и других патологий. Эти алгоритмы способны обрабатывать огромные объемы данных с высокой точностью, что позволяет врачам быстрее и надежнее ставить диагнозы. Кроме того, машинное обучение помогает подбирать индивидуальные схемы лечения на основе генетических маркеров, истории болезни и образа жизни пациента. Это позволяет создавать персонализированные подходы к терапии, которые учитывают уникальные особенности каждого человека. Также алгоритмы анализируют данные о распространении заболеваний, чтобы прогнозировать возможные вспышки эпидемий и разрабатывать стратегии их предотвращения [3].

В финансовой сфере машинное обучение используется для выявления мошеннических транзакций в реальном времени. Алгоритмы анализируют поведение пользователей и фиксируют аномалии, которые могут указывать на мошенничество. Эти системы позволяют банкам и финансовым организациям минимизировать риски и защищать средства клиентов. Помимо этого, машинное обучение применяется для оценки кредитоспособности клиентов. Алгоритмы изучают историю платежей, доходы, кредитные истории и даже поведение в социальных сетях, чтобы определить, насколько надежным будет заемщик. Еще одно применение – прогнозирование изменений на фондовых биржах. Анализируя большие объемы данных, алгоритмы помогают предсказывать рыночные тренды и оптимизировать инвестиционные стратегии.

Сервисы, такие как Netflix, Spotify и Amazon, используют машинное обучение для персонализации рекомендаций. Алгоритмы изучают поведение пользователей, их предпочтения и историю взаимодействия с платформой, чтобы предлагать фильмы, музыку или товары, которые будут наиболее интересны конкретному человеку. Социальные сети также полагаются на машинное обучение для адаптации контента под интересы пользователей. Алгоритмы анализируют лайки, комментарии и время, проведенное на определенных постах, чтобы формировать персонализированные ленты новостей [4].

Беспилотные автомобили используют машинное обучение для распознавания объектов на дороге. Алгоритмы обрабатывают данные с камер и датчиков, чтобы идентифицировать препятствия, дорожные знаки, светофоры и других участников движения. Это позволяет машинам принимать решения в реальном времени и обеспечивать безопасное движение. Кроме того, машинное обучение помогает беспилотным автомобилям планировать маршруты, учитывая дорожные условия, пробки и другие факторы.

Технологии обработки естественного языка (NLP), основанные на машинном обучении, позволяют машинам взаимодействовать с людьми через язык. Виртуальные помощники, такие как Siri, Alexa и Google Assistant, используют алгоритмы для понимания запросов пользователей и генерации ответов. Эти системы постоянно совершенствуются благодаря машинному обучению, что делает их взаимодействие с людьми более естественным и эффективным. Автоматические переводчики, такие как Google Translate, также используют машинное обучение для улучшения качества перевода. Алгоритмы анализируют огромные объемы текстов на разных языках, чтобы находить закономерности и улучшать точность перевода.

В промышленности машинное обучение применяется для прогнозирования отказов оборудования. Алгоритмы анализируют данные с датчиков, чтобы выявлять признаки потенциальных поломок. Это позволяет проводить профилактическое обслуживание и предотвращать простои. Кроме того, ма-

шинное обучение помогает оптимизировать производственные процессы. Алгоритмы изучают данные о производстве, чтобы находить способы снижения затрат и повышения эффективности.

В будущем машинное обучение может трансформировать образовательную сферу. Алгоритмы смогут адаптировать учебные программы под индивидуальные потребности учеников, учитывая их темп обучения и интересы. Это позволит сделать образование более персонализированным и эффективным. Также машинное обучение сможет автоматически проверять задания и экзамены, освобождая преподавателей от рутинной работы.

В области экологии машинное обучение может помочь прогнозировать климатические изменения и их последствия. Алгоритмы анализируют данные о температуре, уровне моря, выбросах углекислого газа и других факторах, чтобы предсказывать будущие изменения климата. Это позволит разрабатывать стратегии по минимизации их влияния. Кроме того, машинное обучение поможет оптимизировать использование ресурсов. Алгоритмы смогут находить способы снижения углеродного следа за счет более эффективного управления энергопотреблением.

В сфере кибербезопасности машинное обучение станет мощным инструментом защиты цифровых систем. Алгоритмы смогут выявлять кибератаки на ранних этапах и предотвращать их реализацию. Также машинное обучение поможет прогнозировать уязвимости в системах до того, как они будут использованы злоумышленниками. Это позволит разработчикам своевременно устранять слабые места и повышать уровень безопасности.

В робототехнике машинное обучение откроет новые горизонты для создания автономных роботов. Алгоритмы научат роботов лучше взаимодействовать с окружающей средой и выполнять сложные задачи. Это позволит использовать роботов в домах, медицине, промышленности и других областях.

Машинное обучение также сможет генерировать художественные произведения, музыку и литературу. Алгоритмы будут изучать существующие произведения искусства, чтобы создавать новые работы, которые дополняют или даже заменяют традиционное творчество.

Преимущества и недостатки использования машинного обучения

Преимущества использования машинного обучения:

- 1) Машинное обучение позволяет автоматизировать рутинные процессы, что снижает затраты времени и ресурсов;
- 2) Алгоритмы способны обрабатывать огромные объемы данных и находить сложные закономерности, недоступные человеку;
- 3) Модели могут улучшаться с течением времени, обучаясь на новых данных.

Недостатки использования машинного обучения:

- 1) Качество материала полученного в результате работы моделей напрямую зависит от качества и количества данных. Недостаток данных или их смещение могут привести к некорректным результатам;
- 2) Некоторые модели, особенно большие нейронные сети, работают как "черный ящик", что затрудняет понимание их решений;
- 3) Создание и обучение моделей требует значительных вычислительных ресурсов;
- 4) Использование ML может вызывать проблемы, связанные с конфиденциальностью данных, дискриминацией и автоматизацией рабочих мест.

Заключение

Прочитав статью, человек сможет узнать, что такое машинное обучение, как оно может упростить некоторые задачи, его применение в различных сферах, от медицины до финансовых приложений, от сервисов доставки еды до беспилотных автомобилей и дронов.

Машинное обучение, безусловно, представляет собой одну из самых революционных технологий нашего времени, которая уже сегодня формирует будущее человечества. Его уникальная способность анализировать колоссальные объемы данных, выявлять скрытые закономерности и адаптироваться к новым условиям делает его универсальным ключом к решению задач, которые еще недавно казались неподвластными машинам. От медицины до искусства, от финансов до экологии – машинное обучение

становится неотъемлемой частью нашей жизни, трансформируя привычные процессы и открывая новые горизонты.

В медицинской сфере эта технология уже помогает врачам делать то, что раньше требовало огромного опыта и времени: точно диагностировать болезни, подбирать персонализированные методы лечения и даже предсказывать вспышки эпидемий. В мире финансов машинное обучение стало щитом против мошенников, а также мощным инструментом для прогнозирования рыночных трендов и оценки рисков. Беспилотные автомобили, виртуальные помощники и рекомендательные системы – это лишь вершина айсберга возможностей, уже воплощены в реальность. В промышленности алгоритмы позволяют предотвращать поломки оборудования, оптимизировать производственные процессы и экономить ресурсы, что напрямую влияет на экономическую эффективность.

Однако, как и любая мощная технология, машинное обучение имеет свои слабые стороны. Качество работы моделей напрямую зависит от качества данных, которые они обрабатывают. Недостаток или смещение данных могут привести к ошибкам, иногда весьма серьезным. Кроме того, многие модели, особенно глубокие нейронные сети, остаются "черными ящиками", что затрудняет их интерпретацию и создает барьер для доверия к их решениям. Высокие требования к вычислительным ресурсам и сложность разработки моделей добавляют вызовов. Этические вопросы также не остаются в стороне: автоматизация рабочих мест, конфиденциальность данных и потенциальная дискриминация в алгоритмах – все это требует внимательного подхода и регулирования.

Взгляд в будущее показывает, что потенциал машинного обучения практически безграничен. Оно может стать основой для персонализированного образования, где учебные программы будут адаптироваться под потребности каждого ученика. В экологии машинное обучение поможет прогнозировать изменения климата и находить способы снижения углеродного следа. В кибербезопасности алгоритмы смогут предугадывать угрозы и защищать цифровые системы от атак. Робототехника получит возможность создавать автономных роботов, способных выполнять сложные задачи в различных условиях. А в искусстве машинное обучение станет соавтором, генерируя музыку, тексты и изображения, которые дополнят или даже превзойдут человеческое творчество.

Применение машинного обучения облегчает работу программистам и позволяет им более быстро выполнять свою работу. Однако ее внедрение требует осознанного подхода: важно не только использовать ее преимущества, но и решать возникающие проблемы. Только так мы сможем полностью раскрыть потенциал машинного обучения и направить его на благо общества. Эта технология – не конец пути, а лишь начало новой эры, где возможности ограничиваются только нашей фантазией и ответственностью.

Список источников

1. *Ronald van Loon*. What Is Machine Learning And How Does It Work. URL: https://www.youtube.com/watch?v=IMUf2x_NgQc (дата обращения: 10.03.2025).
2. LLM and GPT – how do large language models work? A visual introduction to Transformers. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=wjZofJX0v4M> (дата обращения: 11.03.25).
3. Cloud4Y ИИ и машинное обучение в медицине. URL: <https://habr.com/ru/companies/cloud4y/articles/506288/> (дата обращения: 11.03.2025).
4. *Самарина А.* Что такое рекомендательные системы и как работают алгоритмы рекомендаций. URL: <https://timeweb.com/ru/community/articles/chto-takoe-rekomendatelnye-sistemy-i-kak-robotayut-algoritmy-rekomendaciy> (дата обращения: 11.03.2025).

УДК 62.5

О. А. Шевкун

студент кафедры электромеханики и робототехники

Н. В. Савельев – кандидат технических наук, доцент – научный руководитель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PID-РЕГУЛЯТОРОВ И МЕТОДА COMPUTED TORQUE CONTROL ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОВЗВЕННЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ

Введение

Развитие робототехники требует совершенствования методов управления для обеспечения высокой точности позиционирования в условиях нелинейной динамики и сложных кинематических цепей. Традиционно широкое применение находят PID-регуляторы [1], отличающиеся простотой реализации и надежностью в линейных системах. Однако их эффективность снижается при управлении объектами с выраженной нелинейностью, где критичным становится учет динамических взаимодействий между звеньями.

Альтернативой выступает метод Computed Torque Control (СТС) [2], основанный на компенсации возникающих в системе возмущений через использование математической модели. Несмотря на теоретически лучшее качество управления при применении СТС, его практическая реализация сталкивается с проблемой точности идентификации параметров системы.

Актуальность сравнительного анализа PID и СТС обусловлена необходимостью выбора оптимальной стратегии управления для задач управления многосвязными манипуляторами. В статье исследуются особенности обоих методов в контексте моделирования многосвязного манипулятора, а также оценивается качество управления каждого метода.

Описание используемой модели

Исследование проводилось в среде компьютерного моделирования MATLAB/Simulink [3]. Выбор программной платформы обусловлен ее широкими возможностями для моделирования динамических систем, включая инструменты для анализа качества управления системой, настройки регуляторов и визуализации данных.

В качестве объекта управления использовалась модель трехзвенного робота-манипулятора с рациональными соединениями (рис. 1). В кинематической схеме манипулятора были учтены геометрические параметры звеньев и их массовые характеристики.

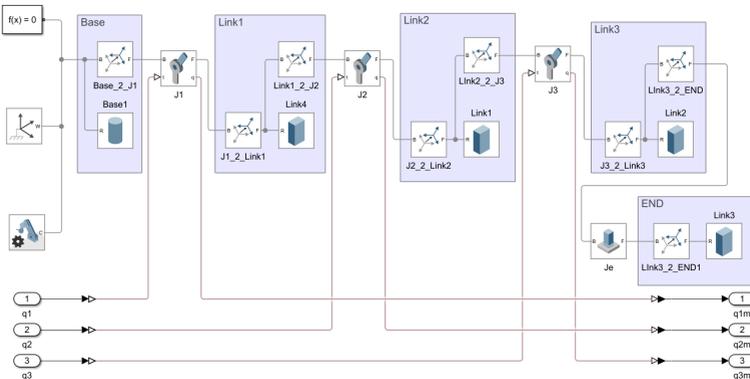


Рис. 1. Модель трехзвенного робота Simulink

Схема состоит из 3 звеньев Link соединенных ротационными шарнирами J. Для каждого звена заданы физические габариты, а также вес (рис. 2).

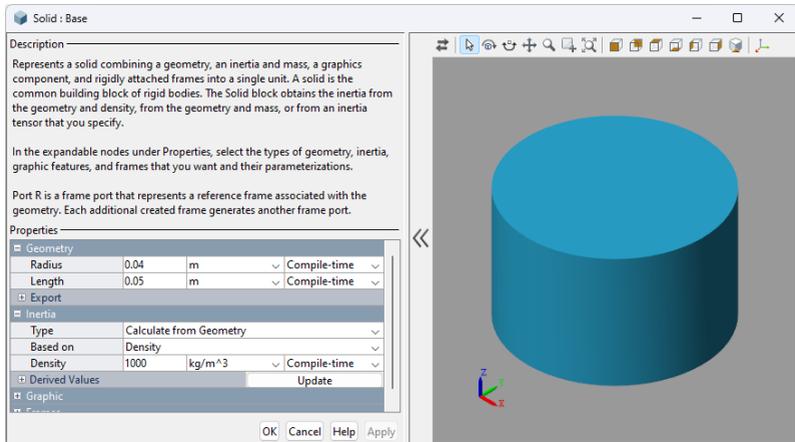


Рис. 2. Конфигурация габаритов и веса звена

На основе полученной схемы была реализована схема управления на PID регуляторах (рис. 3).

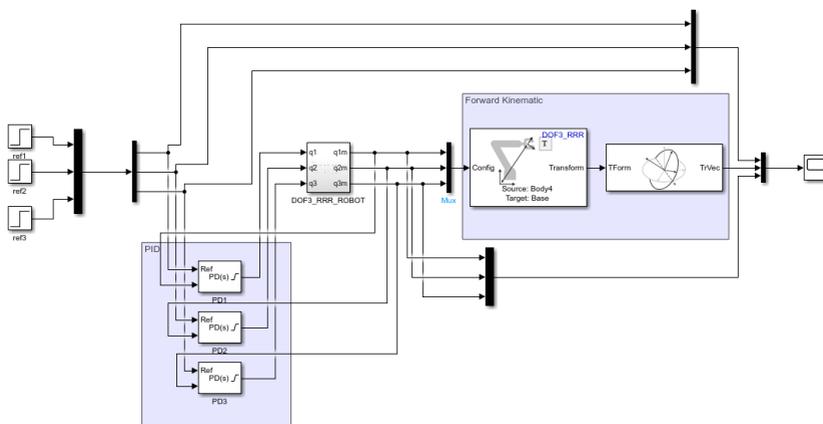


Рис. 3. Схема управления на PID регуляторе

Внутри блока DOF3_RRR_ROBOT находится созданная ранее кинематическая схема робота с входными переменными управляющего момента на звеньях и выходными параметрами положения звеньев. Выходы блока с положением звеньев далее подаются на блок Get Transform для получения положения рабочего органа (конца звена END на Рисунке 1) в виде матрицы преобразований и далее на блок Coordinate Transformation Conversion для получения координат XYZ рабочего органа.

Подбор оптимальных параметров PID регулятора осуществлялся при помощи написанной программы тюнера (рис. 4).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

```
Editor - tuner.m *
universal_dcm  x  untitled *  x  tuner.m *  x  Mechanics Explorers - Mechanics Explorer-test
1 TunedBlocks = {'PD1', 'PD2', 'PD3'};
2 ST0 = sITuner('test', TunedBlocks);
3
4 addPoint(ST0, TunedBlocks);
5
6
7 addPoint(ST0, 'DOF3_RRR_ROBOT/q1m');
8 addPoint(ST0, 'DOF3_RRR_ROBOT/q2m');
9 addPoint(ST0, 'DOF3_RRR_ROBOT/q3m');
10
11
12 RefSignals = {'test/ref1', 'test/ref2', 'test/ref3'};
13 addPoint(ST0, RefSignals);
14
15
16 Controls = TunedBlocks;
17
18 Measurements = {'test/DOF3_RRR_ROBOT/1', 'test/DOF3_RRR_ROBOT/2', 'test/DOF3_RRR_ROBOT/3'};
19 options = looptuneOptions('RandomStart', 80, 'UseParallel', false);
20
21 TR = TuningGoal.StepTracking(RefSignals, Measurements, 0.05, 0);
22 ST1 = looptune(ST0, Controls, Measurements, TR, options);
23
24 writeBlockValue(ST1)
```

Рис. 4. Программа подбора PID коэффициентов

Полученные в результате работы коэффициенты регулятора проверены на адекватность путем поочередной подачи ступенчатого воздействия на каждое звено робота. Результаты представлены на рис. 5.

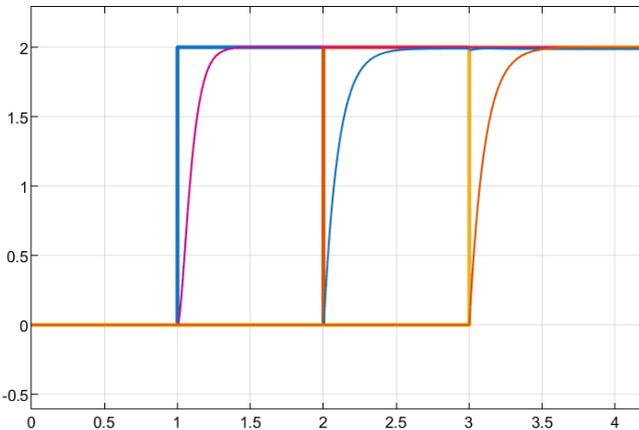


Рис. 5. Работа регулятора с полученными коэффициентами

Для регулятора на основе метода Computed Torque Control [4] построена схема (Рисунок 6). На вход система получает текущее положение (Config 5) и скорость звеньев манипулятора (JointVel 4), а также требуемые положение скорость и ускорение (q , \dot{q} , \ddot{q} 1-3). Система рассчитывает возмущающие моменты, вызванные взаимным влиянием осей друг на друга, моменты, вызванные силами гравитации, а также управляющие моменты на осях. После их взаимного сложения на выходе (Torque 1) получаем итоговые моменты управления.

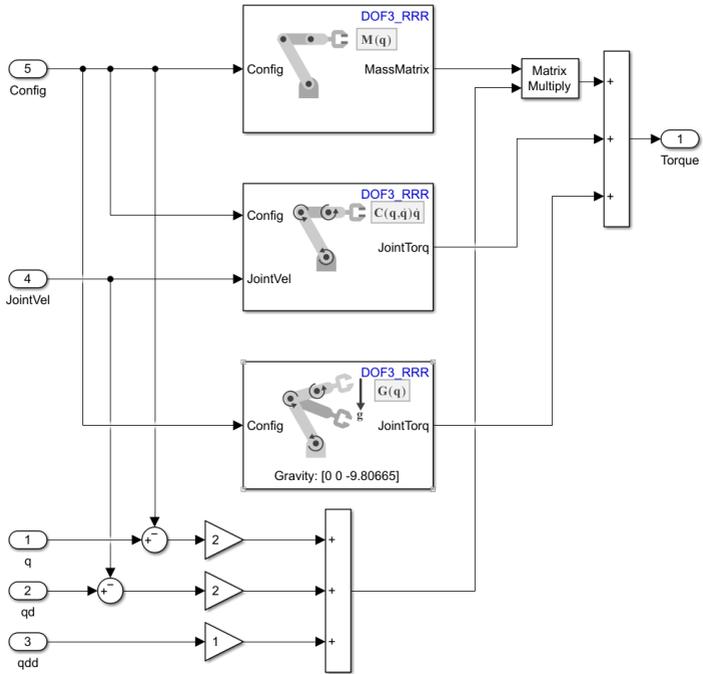


Рис. 6. Регулятор CTC

Итоговая схема моделирования представлена на рис. 7. Полученная ранее система управления CTC находится внутри блока Computed Torque Control. В остальном схема повторяет аналогичную для PID регулятора.

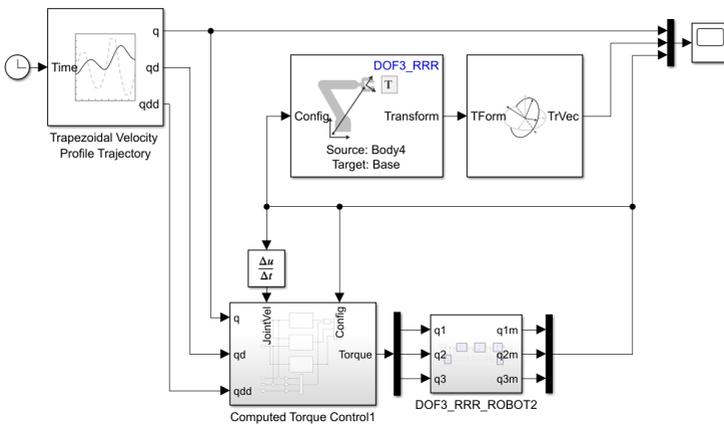


Рис. 7. Схема управления с CTC

Результаты моделирования

Для полученных систем проведено моделирование. Движение осями манипулятора задавалось через блок Trapezoidal Velocity Profile Trajectory по трем точкам. Желаемое положение звена, положение с PID регулятором и положение с СТС регулятором были выведены на один график (рис. 8).

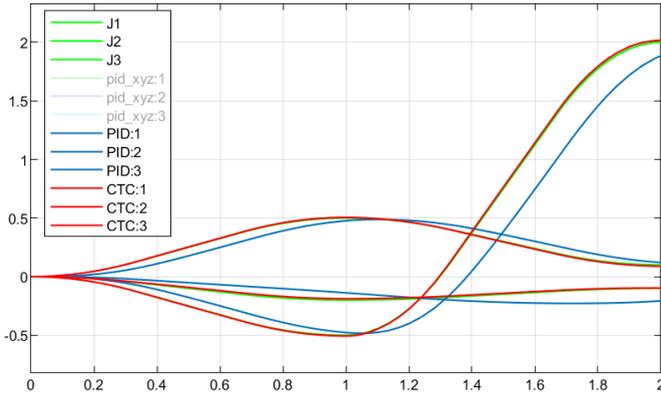


Рис. 8. График движения звеньев

Рассмотрим график подробнее, оставив движение только для одной оси на рис. 9.

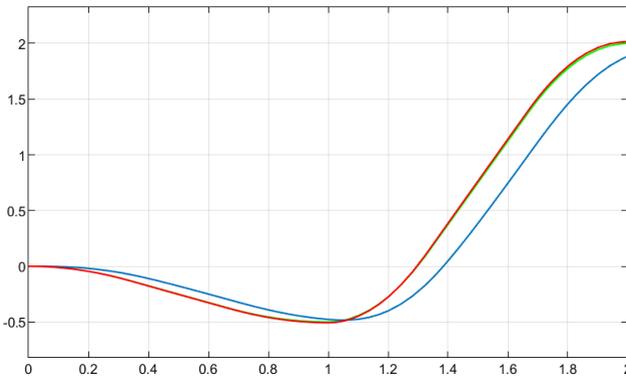


Рис. 9. График движения 3-го звена

На графике представлено движение 3-й оси манипулятора. Зеленой линией обозначена желаемая траектория, синей траектория с PID регулятором, красной с СТС. Как видно, метод с использованием СТС регулятора повторяет заданную траекторию практически идеально, в то время как PID не успевает за ней. Так же на графике видно, что ошибка PID регулятора значительно возросла во второй половине графика. Это можно связать с тем, что в первой половине движения звено (изображено красным цветом на рис. 10 и 11) остается в вертикальном положении, и сила гравитации не оказывает значительного влияния на возникающие моменты на оси, в то время как далее напротив звено начинает

наклонятся по отношению к горизонту из-за чего влияние гравитации на возмущающие моменты на оси многократно возрастает.

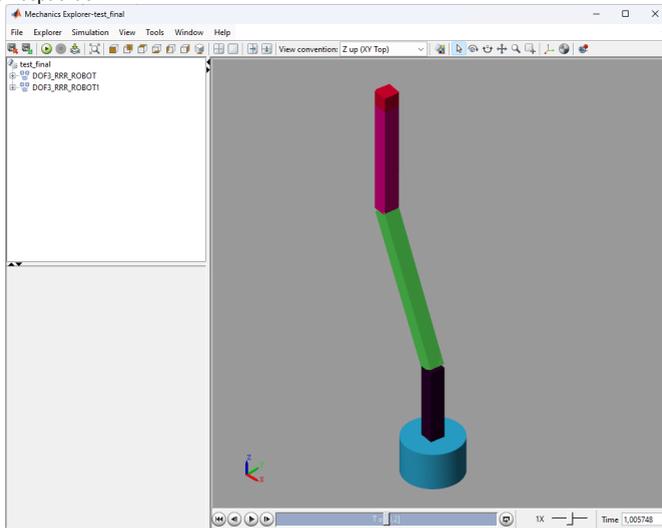


Рис. 10. Положение манипулятора в первой половине траектории

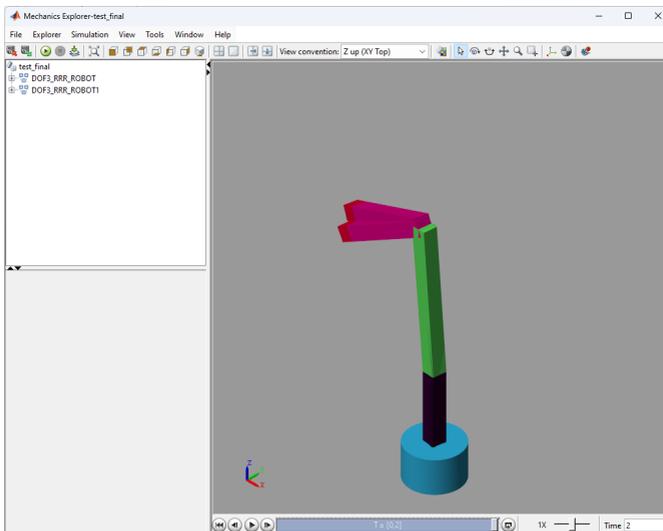


Рис. 11. Положение манипулятора во второй половине траектории

По результатам моделирования была получена среднеквадратичная ошибка позиционирования для каждого звена, а также средняя ошибка для всех звеньев вместе (рис. 12).

МОЛОДЕЖНАЯ СЕКЦИЯ

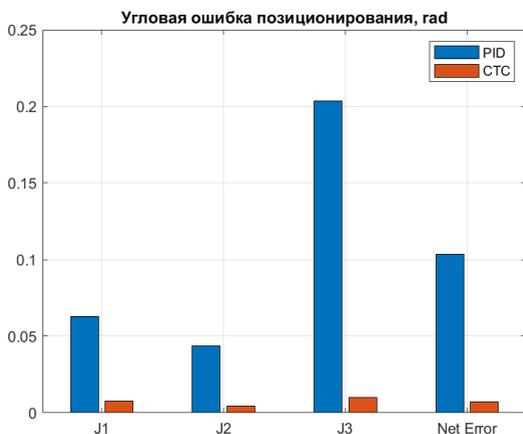


Рис. 12. Угловая ошибка позиционирования звеньев

Как видно при движении по сложной траектории метод CTC позволил обеспечить на порядок лучшее позиционирование осей.

Итоговые значения угловой ошибки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Угловая ошибка позиционирования звеньев

	$\Delta\theta_{J1}, \text{rad} \cdot 10^2$	$\Delta\theta_{J2}, \text{rad} \cdot 10^2$	$\Delta\theta_{J3}, \text{rad} \cdot 10^2$	$\Delta\theta_{\text{avg}}, \text{rad} \cdot 10^2$
PID	6.28	4.35	20.36	10.97
CTC	0.76	0.43	1.02	0.74

Также была рассчитана среднеквадратичная ошибка позиционирования рабочего органа по абсолютным координатам (рис. 13).

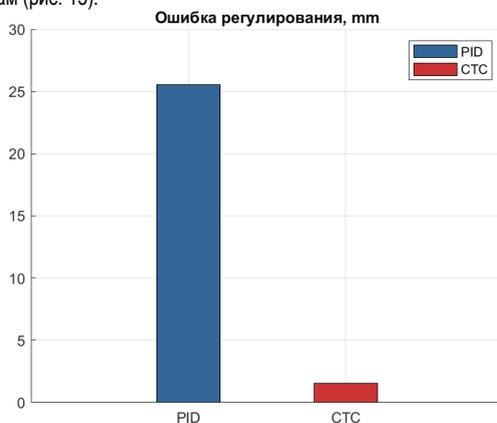


Рис. 13. Ошибка позиционирования в абсолютных координатах

Итоговые значения среднеквадратичной ошибки позиционирования рабочего органа представлены в табл. 2.

Таблица 2

Абсолютная ошибка позиционирования

	Δ , mm
PID	25.5
СТС	1.6

Заключение

В статье проведен сравнительный анализ эффективности PID-регуляторов и метода Computed Torque Control (СТС) при управлении трехзвенным роботом-манипулятором с нелинейной динамикой. Показано, что традиционные PID-регуляторы, несмотря на простоту реализации, демонстрируют ограниченную точность в условиях сложных кинематических цепей и динамических нагрузок. Основной причиной этого является их неспособность адекватно компенсировать возмущения, вызванные взаимным влиянием звеньев и гравитационными силами.

Метод СТС, основанный на компенсации динамических возмущений через математическую модель системы, обеспечивает значительно более высокую точность позиционирования. Результаты моделирования в MATLAB/Simulink подтвердили преимущество СТС: среднеквадратичная ошибка углового положения звеньев составила $0.74 \text{ рад} \cdot 10^{-2}$ против $10.97 \text{ рад} \cdot 10^{-2}$ для PID, а ошибка позиционирования рабочего органа – 1.6 мм против 25.5 мм. Это показывает устойчивость СТС к нелинейным эффектам, таким как гравитационные моменты и взаимные динамические связи между звеньями.

Ключевым выводом является необходимость применения методов с компенсацией динамики (например, СТС) в задачах управления многозвенными манипуляторами, где требуется высокая точность при сложных траекториях движения. Однако практическая реализация СТС требует точной идентификации параметров системы, что может быть затруднительным.

Дальнейшие исследования будут проводиться в направлении гибридных подходов, сочетающих СТС с адаптивными алгоритмами для коррекции параметров модели в реальном времени. Также перспективным является анализ применимости СТС в сочетании с методами машинного обучения для повышения устойчивости к внешним возмущениям.

Список источников

1. *Davim J. Paulo*. Introduction to Mechanical Engineering: Materials Forming, Machining and Tribology: Springer, 2018. С. 213.
2. *Siciliano B., Khatib O.* Springer Handbook of Robotics: Springer, 2016. С. 174.
3. MATLAB and Simulink for Robotics and Autonomous Systems. URL: <https://www.mathworks.com/products/robotics.html> (дата обращения 01.03.2025).
4. *Пилтан Ф. и др.* Design Baseline Computed Torque Controller // International Journal of Engineering (IJE). 2012. Т. 6, № 3. С. 129–141. URL: <https://www.researchgate.net/publication/264084623> (дата обращения 01.03.2025).

УДК 004.8

И. Д. Шелегов

ученик 9-го класса школы № 693

Б. Р. Бакланов – магистрант кафедры электромеханики и робототехники – научный руководитель

ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Введение

Искусственный интеллект (ИИ) – это область компьютерных наук, которая занимается разработкой машин и программ, способных имитировать человеческое мышление и обучаться.

ИИ можно сравнить с маленьким ребенком: сначала он поглощает информацию, предоставленную людьми, затем учится ее применять и использовать для решения различных задач. Например, он может решать математические задачи, создавать тексты или генерировать изображения.

Как работает искусственный интеллект

Процесс работы ИИ включает несколько этапов:

- 1. Сбор данных.** Для обучения ИИ требуется огромное количество информации, которая черпается из специально подготовленных баз данных или из интернета.
- 2. Подготовка данных.** Полученная информация структурируется и специальным образом подготавливается для дальнейшего использования.
- 3. Обучение моделей.** На этом этапе ИИ анализирует данные, выявляет скрытые закономерности, которые невозможно выявить стандартными методами и тем самым учится выполнять поставленные задачи
- 4. Тестирование и оптимизация.** После обучения модель проходит проверку на новых, не использованных в обучении, но подготовленных таким же образом данных, чтобы оценить, насколько точно модель выполняет задачи. При необходимости алгоритмы дорабатывают и улучшают.
- 5. Работа в реальном времени.** После успешного тестирования и оптимизации модель готова к практическому применению.

Влияние искусственного интеллекта на ключевые сферы жизни

Искусственный интеллект в медицине

В медицине искусственный интеллект активно используется благодаря его способности выявлять скрытые для обычных методов анализа маркеры, по которым можно сделать выводы о наличии болезни на ранних стадиях. Кроме того, ИИ применяется для ведения медицинских записей и помощи врачам. Так же ИИ способен выявлять предрасположенность пациентов к определенным заболеваниям и прогнозировать течение хронических болезней.

Некоторые системы ИИ оснащены функцией голосового взаимодействия, что позволяет им опрашивать пациентов о симптомах и давать рекомендации по лечению или направлять к специалистам.

Искусственный интеллект в образовании

В сфере образования ИИ помогает развивать адаптивное обучение и прокторинг. Адаптивное обучение предполагает авизированный подбор учебных материалов и методов обучения, исходя из особенностей каждого отдельного ученика, что помогает сделать процесс обучения более эффективным для всех категорий учащихся.

Прокторинг – это система контроля за экзаменуемыми, которая предотвращает нарушения во время экзаменов. ИИ следит за студентами, фиксируя различные факторы, которые могут остаться незамеченными при использовании обычных веб-камер. Это особенно важно, так как современные студенты часто находят способы обойти технические ограничения.

Искусственный интеллект в дорожном движении

Внедрение ИИ в логистику и управление дорожным движением позволяет значительно сократить время обработки больших объемов данных. Системы ИИ могут интегрировать данные с внешних

устройств, таких как светофоры, и учитывать погодные условия, плотность трафика и местоположение аварий.

На основе анализа текущей обстановки ИИ может регулировать движение, помогая водителям избежать пробок, ремонтных работ и других препятствий. Кроме того, автоматические системы могут оперативно вызывать эвакуаторы или скорую помощь. Поскольку 90% аварий происходят из-за человеческого фактора, внедрение ИИ может значительно снизить количество ДТП и спасти жизни.

Искусственный интеллект в бизнесе

1. Точность прогнозов. Интернет-магазины используют ИИ для прогнозирования спроса на товары. Сравнивая прогнозы нейросетей с реальными данными, компании убеждаются в их точности и продолжают использовать такие системы.

2. Качество обработки заявок. Нейросети помогают распределять входящие звонки между операторами, учитывая тему обращения, компетенции сотрудников и их загруженность. Это повышает эффективность обработки звонков и увеличивает конверсию в продажи.

3. Экономия времени. Предприниматели используют ИИ для автоматизации рутинных задач, таких как создание описаний товаров. Например, чат-боты генерируют тексты за 30 секунд, что позволяет освободить время для других задач.

4. Снижение затрат. ИИ помогает транспортным компаниям оптимизировать маршруты, сокращая время доставки и расход топлива.

5. Повышение лояльности клиентов. Сети салонов красоты используют ИИ для анализа отзывов клиентов. Нейросети выявляют основные проблемы и предлагают варианты ответов на негативные комментарии, что помогает снизить количество недовольных клиентов и увеличить повторные продажи.

Достоинства и недостатки искусственного интеллекта

Достоинства:

1. Высокая скорость и точность обработки информации. Использование ИИ позволяет значительно сократить временные затраты при анализе больших объемов данных за счет использования скрытых закономерностей, что позволяет повысить как точность, так и быстродействие.

2. Автоматизация рутинных задач. ИИ отлично подходит для выполнения повторяющихся задач, которые выстроены по схожему алгоритму, что позволяет задействовать работников в более ответственных сложных задачах.

3. Улучшение качества принимаемых решений. Используя данные, которые ранее были недоступны, ИИ помогает принимать более обоснованные решения в бизнесе, науке, медицине и других областях.

4. Повышение безопасности. ИИ на страже кибербезопасности позволяет значительно повысить сопротивляемость различным киберугрозам таким как кибератаки и мошенничество.

5. Создание новых бизнес-моделей и технологий. Использование ИИ открывает возможности ранее неиспользуемые и без подключения ИИ недоступные.

Таким образом, внедрение ИИ в различные сферы деятельности не только повышает эффективность и безопасность, но и способствует инновационному развитию.

Недостатки:

1. Потенциальная потеря рабочих мест. Одним из главных рисков ИИ является угроза автоматизации, которая может привести к сокращению рабочих мест. Это может вызвать социальные и экономические проблемы, такие как безработица и необходимость перекалфикации работников.

2. Угрозы безопасности и приватности. Использование ИИ поднимает серьезные этические вопросы, связанные с конфиденциальностью данных. Сбор и обработка больших объемов информации могут нарушать приватность пользователей. Кроме того, существует риск злоупотребления ИИ в целях мошенничества, кибератак и других вредоносных действий.

3. Зависимость от данных. Эффективность ИИ напрямую зависит от качества и количества доступных данных. Недостовверная или неполная информация может привести к ошибкам в принятии решений и снижению точности результатов.

4. Высокая стоимость. Разработка, внедрение и поддержка систем ИИ требуют значительных финансовых вложений. Обучение алгоритмов, создание инфраструктуры и настройка систем – все это связано с большими затратами.

Несмотря на свои преимущества, искусственный интеллект требует осторожного подхода к внедрению, чтобы минимизировать потенциальные риски и недостатки.

Примеры использования ИИ

Искусственный интеллект в автопилоте Tesla

Автомобили Tesla оснащены продвинутой аппаратной платформой, которая включает в себя восемь камер и мощную систему обработки видео, обеспечивающие 360-градусную видимость на расстоянии до 250 м. Кроме того, автомобили имеют радар, ультразвуковые датчики и GPS для определения положения и скорости автомобиля.

Для того, чтобы использовать всю эту информацию, на бортовом компьютере работает специальное программное обеспечение, которое основано на глубоком обучении – одном из разделов искусственного интеллекта. Tesla использует нейронные сети для различных задач, связанных с автопилотом.

Использование ИИ в автопилоте Tesla не только повышает удобство и комфорт вождения, но и делает его более безопасным. Автопилот Tesla может выполнять такие функции, как:

- Автоматическое управление рулем, тормозами и газом в пределах своей полосы
- Предложение перестроения для оптимизации маршрута и избежания заторов или медленных машин
- Автоматическое перестроение по подтверждению водителя или по жесту поворотника
- Автоматическое парковка и выезд с парковочного места или гаража по команде с приложения или ключа
- Торможение при обнаружении препятствия или опасности на дороге
- Поддержание безопасного расстояния до впереди едущего автомобиля
- Автоматическое включение фар при необходимости, а также переключение дальнего и ближнего света при обнаружении других автомобилей.

Искусственный интеллект в IBM Consulting

Профессия консультанта – это прежде всего человеческие отношения. Вы прислушиваетесь к лидерам, помогаете им определить их основные задачи и вместе создаете видение будущего: помогаете большему количеству клиентов и создаете новые, более качественные продукты, которые способствуют развитию общества.

Теперь генеративный ИИ может делать больше, чем когда-либо, гораздо более доступным способом, включая задачи, которые ранее считались прерогативой только человека

Искусственный интеллект может поддерживать консультантов на каждом этапе консалтингового взаимодействия. Он может помочь в разработке стратегии и дизайна, реализации проекта и технологической интеграции, а также в запуске и эксплуатации управляемого сервиса.

Сегодня искусственный интеллект помогает консультантам быстро собирать воедино обширную справочную информацию о ситуации и проблемах их клиентов, а также отраслевые данные и аналогичные проблемы, с которыми сталкивались другие.

Перспективы и риски развития ИИ

Перспективы искусственного интеллекта и как он изменит мир

Относительно будущего технологии ИИ у ученых складываются достаточно оптимистические и смелые прогнозы как на пример то, что многие специалисты в области искусственного интеллекта и футурологии считают, что в будущем может быть создан универсальный виртуальный разум (или искусственный общий интеллект, AGI), способный выполнять разнообразные задачи, которые сегодня под силу только человеку. Такой разум сможет:

- Решать сложные проблемы
- Принимать рациональные решения

- Самообучаться
- Общаться с людьми
- Быть наставником, учителем

Хотя точно спрогнозировать срок появления такого рода разума не получится, твердо можно быть уверенным, что в ближайшие десятилетия мир ждут глобальные изменения связанные с использованием ИИ.

В теории, будущие модели искусственного интеллекта смогут самостоятельно развиваться и создавать для себя новые алгоритмы. Однако остается открытым вопрос: будет ли такое ИИ-сознание похоже на человеческое восприятие мира? IT-специалисты пока не могут точно предсказать, как робот будет принимать решения и насколько его цели будут совпадать с человеческими потребностями. В любом случае, достижение подобных результатов потребует значительных усилий, множества проб и ошибок, чтобы в итоге прийти к обществу с высокоразвитыми технологиями.

Риски развития ИИ

Хотя искусственный интеллект открывает новые возможности в различных областях, у ученых появляется все больше опасений, связанных с будущим этой технологии.

Один из главных IT-экспертов, Элиезер Юджовский, известен эмоциональными высказываниями касательно искусственного интеллекта. Он считает, что пора прекратить развитие цифрового разума и остановиться на том, чего человечество достигло в настоящее время. В противном случае роботизированные машины захотят выйти из рамок и перейти в реальный мир, управлять всеми его сферами и в итоге избавиться от человечества. Более того, Э. Юджовский прогнозирует остановку развития мышления человеческого мозга, который атрофируется из-за ненужности.

Э. Юджовский уверен в том, что человечество вымрет из-за развития цифрового интеллекта: «Это дело времени». Проблема заключается в том, что специалисты могут легко перейти грань и создать интеллект, который будет в разы превышать мышление людей. Это и есть катастрофа для мира, потому что людьми станет легко управлять. Машина не способна к эмпатии, поэтому не сможет распознать боль и недовольство человека. Она действует лишь в рамках поставленных целей, для преодоления которых ничто не помешает.

Заключение

Проект показывает, что искусственный интеллект оказывает значительное влияние на жизнь человека, открывая новые возможности для развития технологий и улучшения качества жизни. Вместе с тем он создает вызовы, связанные с безопасностью, приватностью и социальной адаптацией. Для успешного использования ИИ необходимо соблюдать баланс между развитием технологий и ответственным подходом к их внедрению, чтобы минимизировать риски и максимально использовать их потенциал.

Список источников

1. Искусственный интеллект в автопилоте Tesla. URL: <https://avtovelikan.ru/articles/item/iskusstvennyi-intellekt-v-avtopilote-tesla-kak-on-rabotaet-i-pochemu-za-nim-budushchee> (дата обращения: 25.11.2024).
2. Искусственный интеллект: что это такое и как работает. URL: <https://blog.skillfactory.ru/iskusstvennyj-intellekt/> (дата обращения: 25.11.2024).
3. Искусственный интеллект (ИИ) – что это такое и как работает. URL: <https://garpix.com/blog/chto-takoe-iskusstvennyj-intellekt> (дата обращения: 20.11.2024).
4. Сферы применения искусственного интеллекта. URL: <https://gb.ru/blog/sfery-primeneniya-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения: 21.11.2024).
5. Зачем искусственный интеллект бизнесу. URL: <https://www.bitrix24.ru/journal/iskusstvennyj-intellekt-v-biznese/> (дата обращения: 23.11.2024).
6. Плюсы и минусы искусственного интеллекта. URL: <https://www.decosystems.ru/plyusy-i-minusy-iskusstvennogo-intellekta/> (дата обращения: 23.11.2024).

7. Будущее ИИ. Искусственный интеллект: проблемы и перспективы. URL: <https://www.etxt.ru/subscribes/budushhee-ii/> (дата обращения: 23.11.2024).

Содержание

<i>Александров Н. В.</i> СРАВНЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С АСИНХРОННЫМИ И СИНХРОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ.....	3
<i>Алексеев Д. М.</i> ГЕНЕРАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА...	8
<i>Алексеев Р. А.</i> ИСКУССТВЕННАЯ НЕЙРОСЕТЬ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ.....	12
<i>Арюткин И. М.</i> ЗНАЧЕНИЕ РОБОТОВ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ.....	17
<i>Бакланов Б. Р.</i> АНАЛИЗ ПРИВодОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В СИСТЕМАХ С ТОЧНЫМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕМ, И ВЫБОР ПРИВодОВ ДЛЯ КООРДИНАТНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА В РОБОТИЗИРОВАННОЙ СБОРОЧНОЙ ЛИНИИ.....	24
<i>Баландюк С. А.</i> РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ЗАСЫПАНИЯ ВОДИТЕЛЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА.....	29
<i>Биркле С. Е.</i> ОБЗОР СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОМ С ПРЯМОУГОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ.....	33
<i>Вашуров К. Г.</i> РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ.....	37
<i>Волк О. С.</i> АВТОНОМНЫЕ НЕОБИТАЕМЫЕ ПОДВОДНЫЕ АППАРАТЫ: СОСТОЯНИЕ И ОБЩИЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ.....	42
<i>Волобуев Д. Н.</i> РОБОТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ТРЕНИРОВКИ ХОККЕИСТОВ.....	47
<i>Воробьев И. С.</i> АНАЛИЗ ПРИВодНОЙ СИСТЕМЫ ЗАХВАТОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ.....	51
<i>Гольшев Н. Е.</i> КОНВЕРТОПЛАН ДЛЯ ОТБОРА ПОЧВ.....	55
<i>Давидова К. А.</i> О РАЗРАБОТКЕ АКТИВНЫХ РУКОЯТОК СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИХ СТЕНДОВ.....	59
<i>Деревянко Р. В.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕРВИСНОГО РОБОТА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНТРАРЕНАЛЬНЫХ ХИРУРГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНДОСКОПА.....	63
<i>Дьяльков Р. Э.</i> ОБЗОР МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ РИСКА ПОВРЕЖДЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ В ЗИМНИЙ ПЕРИОД.....	66
<i>Епифанцев К. В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ QR-КОДОВ В КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	69
<i>Ершов М. В.</i> АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕХА.....	72
<i>Жуков И. В.</i> МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ НА ПРЕДПРИЯТИИ.....	75
<i>Задорожный В. К.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	77
<i>Калашников Д. А.</i> РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКОЙ.....	82
<i>Курсанов Д. И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ БОЛЬШИХ ДАННЫХ.....	88
<i>Климова А. Р.</i> К ВОПРОСУ РОБОТИЗАЦИИ АГРОИНДУСТРИИ В РОССИИ.....	91
<i>Комин К. Е., Поваренных Ю. Р.</i> ОБЗОР ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И ЗАЩИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЯЧЕЙКИ КОМПЛЕКТНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ.....	95
<i>Корниенко А. Р.</i> ОБЗОР МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА БАЗЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	99

Крылов Д. М., Назаренко В. В., Степанов А. В. ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....	102
Крылов Д. М., Назаренко В. В., Степанов А. В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ГИБКОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ	107
Крылов Д. М., Назаренко В. В., Степанов А. В. СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ И ИХ ВНЕДРЕНИЕ В РОССИЙСКИЕ КОМПАНИИ	111
Лебедев В. Р. ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА В НАСТРОЙКЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ	114
Лебедев В. Р. ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЛАТЫ STM32F411CEU ПРИ ПОМОЩИ БИБЛИОТЕКИ WAJUNG В MATLAB SIMULINK	119
Лизько В. Н. АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ ЛИНЕЙНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ	123
Литвинов Р. А. АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ: ОБЗОР И КЛАССИФИКАЦИЯ	128
Литвинов Р. А. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ	132
Литвинов Р. А. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОБЗОР МЕТОДОВ И ПЕРСПЕКТИВ	136
Литвинов Р. А. ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ РЕАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ: ОБЗОР И ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ РЕШЕНИЯ.....	140
Лукьянов Д. Ю. АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ.....	144
Лукьянов Д. Ю. ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: КЛЮЧЕВЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	148
Лукьянов К. А., Сиротенко А. А. БИОНИЧЕСКИЙ ЛЕТАЮЩИЙ РОБОТ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАПОВЕДНИКА.....	151
Лукьянов К. А., Сиротенко А. А. ГРУЗОВОЙ БЕСПИЛОТНЫЙ КОНВЕРТОПЛАН	155
Мазунин В. В. АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	159
Макаренко Д. Д. ОТ РУТИНЫ К ИННОВАЦИЯМ: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАЦИИ КОДА И ИХ БУДУЩЕЕ	164
Макаров А. А., Ильичев С. А. МОДЕЛЬ УМНОГО ДОМА НА ОТЛАДНОЙ ПЛАТЕ ARDUINO	166
Марака А. СОЛНЦЕЗАЩИТНЫЙ УЛИЧНЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЗОНТ.....	169
Марков М. Д. СИСТЕМЫ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	172
Митогуз С. С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ДИАМЕТРА ВЫХОДНОГО ВАЛА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРА.....	177
Митрофанов Н. С. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ.....	181
Митюков Д. С. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЕГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ.....	185
Монахов М. А. АНАЛИЗ ТИПОВ МАЛОГАБАРИТНЫХ ЗАХВАТНО-ФИКСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ... ..	192
Нахов В. А. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ НА ОСНОВЕ ФРЕЙМОВ.....	194
Никольская А. А., Рудяк Р. С., Цветков А. Э. РОЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ТРАНСФОРМАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ОТ АНАЛИЗА ДАННЫХ К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ	197

Орлова Е. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОДНОВРЕМЕННОСТИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ.....	200
Погор А. Р. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ОКРУГА РОССИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНЕ	202
Рождественский В. П. ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНЫХ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ.....	213
Севериллов И. П. РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ	217
Смагин Д. А. АНАЛИЗ СХЕМ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	221
Сологубов Н. Д. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ	232
Софронов А. А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ДЖАЙЛСА – АТЕРТОНА ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ХОЛОСТОГО ХОДА.....	235
Старощук Д. И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДНЫХ СТАНЦИЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА	241
Ульрих А. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	245
Филиппова А. Н. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ SCARA-РОБОТОМ	252
Хорубко А. Д. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ИСПОЛНЕНИЯ РЕЗЕРВНОГО ПИТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ И СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ УЛИЧНОГО ОСВЕЩЕНИЯ.....	257
Храмов А. Е., Петухов Н. М., Чугров А. А. ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ	264
Чугунов А. Л. МАШИННОЕ ОБУЧЕНИЕ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ И ПРИНЦИПА РАБОТЫ	269
Шевкун О. А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ PID-РЕГУЛЯТОРОВ И МЕТОДА COMPUTED TORQUE CONTROL ПРИ УПРАВЛЕНИИ МНОГОЗВЕННЫМ РОБОТОМ-МАНИПУЛЯТОРОМ	274
Шелегов И. Д. ОСНОВЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА	282

Научное издание

ЗАВАЛИШИНСКИЕ ЧТЕНИЯ'25
XX Международная конференция
по электромеханике и робототехнике
15–16 апреля 2025 г.

Молодежная секция

Сборник докладов

ISBN: 978-5-8088-2069-2



Ответственный за выпуск
доктор технических наук, профессор *В. Ф. Шишлаков*
Редакторская подготовка *Л. Ю. Кладовой*
Компьютерная верстка *А. Н. Колешко*

Подписано к печати 04.09.2025. Дата выхода в свет: 09.09.2025. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 22,0. Тираж 150 экз. Заказ № 293.

Редакционно-издательский центр ГУАП
190000, г. Санкт-Петербург, Большая Морская ул., 67, лит. А

Распространяется бесплатно