

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 3

Материалы
XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.)

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
УФИМСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ**

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 3

*Материалы
XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции*

(г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.)

Научное электронное издание сетевого доступа

**Уфа
РИЦ УУНИТ
2024**

УДК 621.3
ББК 31.2
М12

*Печатается по решению заседания ученого совета Института
электротехнического инжиниринга УУНиТ.
Протокол № 5 от 18.12.2024 г.*

Редакционная коллегия:

канд. техн. наук, доцент **А.В. Лобанов** (*отв. редактор*);
д-р техн. наук, профессор **В.С. Фетисов** (*секция 3.1*);
ассистенты **Д.Ш. Багаутдинова, А.А. Бабикова** (*секция 3.2*);
ассистент **Я.В. Алексакина** (*секция 3.3*);
канд. техн. наук, доцент **М.Б. Гареева** (*секция 3.4*);
канд. техн. наук, доцент **З.Г. Габидуллина** (*секция 3.5*)

М12 **Мавлютовские чтения:** материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции (г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.) / отв. ред. А.В. Лобанов / в 9 т. Т. 3. [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – 356 с. – URL: <https://uust.ru/digital-publications/2024/274.pdf> – Загл. с титула экрана.

ISBN 978-5-7477-6015-8

Том 3: ISBN 978-5-7477-6029-5

В 3-й том сборника материалов конференции вошли статьи секций 3.1–3.5. Сборник предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей.

Все материалы представлены в авторской редакции.

УДК 621.3.

ББК 31.2

© УУНиТ, 2024

ISBN 978-5-7477-6029-5 (том 4)

ISBN 978-5-7477-6015-8

**СЕКЦИЯ 3.1. ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И АВИОНИКА**

УДК 628.9:62-50

А.А. АБДРАХМАНОВ

azat1309@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Т.Р. САЛАХОВ**

Уфимский университет науки и технологий

АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ ОФИСА

Аннотация: в данной работе были рассмотрены технологии автоматического управления освещением в офисных помещениях, их преимущества и недостатки, а также перспективы развития. Особое внимание уделяется системам управления освещением, основанным на датчиках и интеграции с Интернетом вещей (IoT).

Ключевые слова: датчик; управление; освещение; интернет вещей.

Современные офисные пространства требуют эффективных решений для управления освещением, способствующих созданию комфортной рабочей среды, повышению производительности работников и снижению потребления энергоресурсов. Автоматическое управление освещением позволяет не только оптимизировать расход электроэнергии, но и активно адаптироваться к изменяющимся условиям окружающей среды. Целью статьи является обзор существующих технологий автоматического управления освещением офиса, а также рассмотрение перспектив данного направления.

Обзор существующих технологий

Существует множество технологий автоматического управления освещением, каждая из которых имеет свои особенности и области применения [1, 2]. Рассмотрим некоторые из них:

1) Система управления с датчиком движения: эта система использует датчики для определения наличия людей в комнате и автоматически включает или выключает свет на основе этого. Например, датчик K2150 может охватывать большие пространства, такие как коридоры, и обеспечивать эффективное управление освещением без ручного вмешательства.



Рис. 1. Датчик K2150

2) Система контроля дневного света: эта технология позволяет автоматически регулировать уровень искусственного света в зависимости от количества естественного света в комнате. Датчик освещенности, например K2110, поддерживает заданный уровень яркости и автоматически регулирует светоотдачу в зависимости от внешних условий.



Рис. 2. Датчик K2110

3) Интегрированные системы «умного дома» и интеграция с Интернетом вещей: это современные решения для автоматизации освещения, часто интегрированные с другими системами «умного дома», такими как системы управления климатом и безопасностью. Это позволяет создать единую платформу для управления всеми инженерными системами здания.

Системы на основе датчиков движения являются одним из самых распространенных решений для автоматического управления освещением в офисах. Они обеспечивают:

- энергосбережение: автоматически включает и выключает освещение в зависимости от присутствия людей, что значительно снижает потребление энергии.

- простоту использования: пользователям не нужно беспокоиться о включении или выключении света вручную;

- гибкость: систему можно настроить для работы в различных режимах в зависимости от потребностей офиса (например, ночной экономичный режим).

Однако и у таких систем есть свои недостатки. Например, они могут не сработать в помещениях, где персонал мало ходит или при наличии препятствий между датчиком и зоной обнаружения.

Системы же, учитывающие уровень естественного света, могут поддерживать оптимальный уровень освещения в помещении. Преимущество такой системы заключается в следующем:

- оптимизация потребления энергии: это автоматическая регулировка яркости, что позволит снизить затраты на электроэнергию за счет использования искусственного света;

- комфорт для персонала: поддержание постоянного уровня яркости будет создавать более комфортную рабочую среду, а также не исключит мигание света, что благоприятно скажется на здоровье человека.

Тем не менее, и такая система имеет ряд минусов, главный из которых – это сложная настройка и требовательность в наличии качественных датчиков для точного измерения уровня света.

Дальше рассмотрим некоторые технологические аспекты датчиков освещения. Одним из ключевых компонентов автоматизированных систем управления освещением являются датчики освещения, которые регулируют уровень яркости в зависимости от естественного света, поступающего в офис. Такими устройствами могут быть:

- пассивные инфракрасные датчики (PIR) — они реагируют на движение и изменение температуры (которое помогает точно определить наличие человека) в помещении;

- фотоэлементы — которые определяют уровень естественной освещенности и скорректируют работу искусственных источников света.

Современные методы внедрения автоматического управления освещением активно интегрируются с технологиями Интернета вещей, что позволяет создавать единые экосистемы для управления всеми системами здания (отопление, вентиляция, безопасность и освещение). Это повышает уровень автоматизации и обеспечивает более удобное управление [3, 4].

Системы, которые оснащены функцией таймера, могут быть запрограммированы, что позволяет включать и выключать свет в зависимости от рабочего графика персонала и времени суток. Это особенно актуально для крупных офисов с изменяющимся числом рабочих мест и графиками.

Проанализировав существующие системы управления, мы пришли к выводу, что автоматическое управление освещением имеет ряд преимуществ [5]:

1. Энергетическая эффективность: системы автоматического управления может сократить потребление электроэнергии на 30-50% за счёт оптимизации работы источников света в зависимости от реальных потребностей;

2. Улучшение условий труда: адаптивное освещение, которое может учитывать индивидуальные предпочтения сотрудников, а также изменения внешних условий, что способствует повышению комфорта и производительности;

3. Уменьшение затрат на обслуживание: умные системы способны в режиме реального времени отслеживать состояние источников света и предупреждать о необходимости замены ламп.

Несмотря на очевидные преимущества, при внедрении автоматических систем управления освещением могут возникнуть и некоторые проблемы:

1. Значительные начальные денежные вложения: установка современных систем автоматизации требует значительных вложений, что может быть непосильным для малых и средних предприятий.

2. Необходимость в техническом обслуживании: высокотехнологичные решения требуют регулярного обслуживания и обновления ПО, что может вызывать дополнительные затраты и потребность в квалифицированном персонале.

3. Проблемы с совместимостью: разные производители могут использовать различные протоколы связи и стандарты, что может создать определённые сложности при интеграции различных систем в единую сеть.

Кроме того, нужно учесть и такую сторону безопасности как защита данных, так как подключение к Интернета вещей (IoT) и автоматическое управление через интернет делает систему более уязвимой к кибератакам.

С учётом резкого роста интереса к развитию и формированию умных городов, автоматическое управление освещением офисов будет развиваться и дальше. Ожидается дальнейшее совершенствование технологий, а также интеграция с искусственным интеллектом для более точного прогнозирования потребностей в освещении.

Автоматическое управление освещением офисов представляет собой важный шаг к созданию более эффективных и комфортных рабочих пространств. Существующие технологии, такие как системы на основе датчиков движения и учета естественного света, предлагают множество преимуществ, включая экономию энергии и повышение комфорта. Однако необходимо учитывать их недостатки при выборе подходящего решения для конкретного офиса. Интеграция этих технологий с другими системами умного дома может значительно улучшить общую эффективность управления офисным пространством.

Библиографический список

1. Стандарты управления освещением [Электронный ресурс] <https://www.cta.ru/articles/cta/spravochnik/standartizatsiya-i-sertifikatsiya/124653/>

2. Автоматизация освещения [Электронный ресурс] <https://ap-n.com/avtomatizacija-osveshhenija/>

3. Армитаж П., Макморрис Т. (2020). Интеллектуальное управление освещением: будущее автоматизированного управления освещением. Журнал "Технологии устойчивого строительства", 15 (3), с. 123-135.

4. Чжан, Ю., И Ванг, Дж. (2021). Интернет вещей в интеллектуальном освещении: обзор. Журнал IEEE Internet of Things, 8 (9), 7560-7575.

5. Фостер А., Джонс Д. (2019). Влияние автоматизированного освещения на производительность труда. Международный журнал энергетических исследований, 43 (7), 2106-2115.

© Абдрахманов А.А., 2024

УДК 621.873.21:658.788.4:656.072.55:629.37.03

Р.И. АНТРОПОВ

roman.antropov6@gmail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Е.Ф. НУРЛЫГАЯНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Аннотация: в статье рассматривается концепция умных кран-балок, их ключевые технологии и преимущества для складской логистики. Приведен сравнительный анализ зарубежных решений и отечественных разработок, подчеркнуты ограничения российских технологий. Описаны перспективы модернизации отечественных кранов с использованием несанкционированной элементной базы.

Ключевые слова: умные кран-балки; автоматизация; складская логистика; лидар; датчик нагрузки.

Введение

Современные предприятия все чаще сталкиваются с необходимостью оптимизации логистических процессов, повышения безопасности и увеличения производительности. Интенсивное развитие технологий автоматизации и цифровизации затрагивает все отрасли промышленности, включая грузоподъемное оборудование. В этом контексте умные кран-балки становятся инновационным решением, предлагающим сочетание надежности традиционных кранов и возможностей современных технологий.

Актуальность темы заключается в том, что внедрение интеллектуальных систем управления в грузоподъемное оборудование позволяет предприятиям минимизировать человеческий фактор, улучшить контроль за производственными процессами и снизить операционные затраты. Такие кран-балки оснащаются системами дистанционного управления, лидарами для анализа пространства и датчиками перегрузки, что значительно расширяет их функциональные возможности.

Краткий обзор развития грузоподъемных технологий

История грузоподъемных технологий берет свое начало с древних времен, когда люди использовали простейшие механизмы, такие как рычаги, блоки и наклонные плоскости, для перемещения тяжелых грузов. Эти

примитивные устройства лежали в основе строительства великих сооружений, например, египетских пирамид и римских акведуков. Хотя их конструкция была простой, они уже тогда демонстрировали принципы механики, которые используются и по сей день.

XX век стал эпохой электрификации и стандартизации. С внедрением электрических двигателей грузоподъемные машины стали более мощными и точными, что позволило увеличить их грузоподъемность и обеспечить надежную работу даже в сложных условиях. Появление пультов дистанционного управления не только сделало эксплуатацию кранов более безопасной, но и открыло путь к первым шагам автоматизации. К этому времени мостовые краны прочно вошли в обиход промышленности, став неотъемлемой частью заводских и складских процессов.

На рубеже XX и XXI веков началась эра цифровизации и интеллектуализации оборудования. Микропроцессорные технологии и развитие программного обеспечения позволили внедрить системы автоматического управления и мониторинга. Современные мостовые краны стали оснащаться датчиками перегруза, системами предотвращения раскачивания груза и программами для автоматического перемещения по заданным маршрутам. Эти инновации не только повысили производительность, но и сделали работу с грузоподъемным оборудованием более безопасной и эффективной.

Сегодня грузоподъемные технологии продолжают развиваться, интегрируя в себя искусственный интеллект, сенсорные системы и элементы робототехники. Такие решения позволяют кран-балкам работать в полностью автоматическом режиме, избегать столкновений, анализировать окружающее пространство с помощью лидаров и взаимодействовать с другими системами предприятия. Эволюция грузоподъемных устройств показывает, как далеко шагнул прогресс, превратив простейшие механизмы прошлого в умные машины будущего.

Современные технологии в умных кран-балках

Современные умные кран-балки базируются на широком спектре технологических решений, которые обеспечивают их высокую эффективность, точность и безопасность. Одной из ключевых составляющих является автоматизация управления, которая позволяет выполнять сложные операции с минимальным участием оператора. Программируемые контроллеры управляют подъемом и перемещением грузов по заранее заданным маршрутам, снижая вероятность ошибок и повышая производительность. Такие системы часто включают алгоритмы предотвращения раскачивания груза, что особенно важно при работе в условиях ограниченного пространства или с грузами большой длины.

Еще одной важной технологией, используемой в умных кран-балках, является интеграция в них сенсорных систем. Лидары, ультразвуковые и инфракрасные датчики помогают устройству анализировать окружающее пространство, избегать столкновений и определять запрещенные зоны. Эти

технологии делают работу крана более безопасной и позволяют ему функционировать в автоматическом режиме даже в сложных условиях, например, на загруженных складах или в цехах с высокой плотностью оборудования.

Кроме того, современные кран-балки часто оснащаются датчиками нагрузки, которые не только предотвращают перегрузку, но и помогают оптимально распределить вес груза. Это позволяет не только защитить конструкцию крана, но и избежать несчастных случаев. Такие датчики работают в связке с системой контроля состояния оборудования, собирающей данные о его работе и отправляющей уведомления о необходимости проведения техобслуживания или ремонта.

Особое внимание уделяется интеграции умных кран-балок в цифровую инфраструктуру предприятия. Они могут подключаться к ERP-системам (Enterprise Resource Planning), которые автоматизируют и объединяют ключевые бизнес-процессы, такие как управление финансами и логистикой, а также к MES-системам (Manufacturing Execution System), обеспечивающим контроль и оптимизацию производственных операций в режиме реального времени. Это позволяет в реальном времени отслеживать работу кран-балок, анализировать полученные данные и эффективно оптимизировать логистические процессы. С помощью облачных технологий и Интернета вещей (IoT) возможно дистанционное управление и мониторинг крана, а также сбор данных для их последующего анализа с использованием машинного обучения.

Примеры успешного внедрения

Примеры успешного внедрения умных кран-балок можно наблюдать как на международной арене, так и в России, хотя уровень применения и глубина интеграции технологий заметно различаются. В мировом контексте ведущие производители, такие как Konecranes и Demag, активно развивают свои интеллектуальные системы. Эти компании предлагают решения, включающие автоматическое управление, использование лидаров для предотвращения столкновений и интеграцию с цифровыми платформами. Например, система Smart Crane от Konecranes (рис. 1) используется для управления большими грузами в портах, где она не только повышает эффективность, но и минимизирует вероятность ошибок, связанных с человеческим фактором.



Рис. 1. Портовый умный кран от Konecranes

В России, хотя и присутствует интерес к интеллектуальным решениям, внедрение таких технологий происходит более ограниченно. Основной фокус российских компаний, таких как «ТехКранМонтаж» (рис. 2) и «Сибэлектро», заключается в модернизации существующего оборудования с добавлением некоторых автоматизированных функций, таких как датчики нагрузки или системы видеонаблюдения. Однако интеграция сложных систем, подобных международным аналогам, остается редкостью из-за высокой стоимости внедрения и недостатка готовых решений, адаптированных под российский рынок.



Рис. 2. Система Smart Crane, разработанная специалистами «ТехКранМонтаж»

Сравнение мирового и российского опыта показывает, что за рубежом акцент делается на полный цикл автоматизации, где умные кран-балки становятся частью общей цифровой экосистемы предприятия. В России внедрение носит более локальный характер и сосредоточено на решении конкретных задач. В мировой практике умные кран-балки уже демонстрируют значительный эффект в таких отраслях, как машиностроение, логистика и судостроение, благодаря внедрению передовых технологий автоматизации,

сенсорного анализа и интеграции с системами Интернета вещей (IoT). Высокая стоимость таких технологий по-прежнему является серьезным ограничением для многих российских предприятий, особенно малых и средних. На рис.3 представлена блок-схема сравнения возможностей отечественного и зарубежного кранов.

В России потенциал развития умных кран-балок обусловлен необходимостью модернизации существующего производственного оборудования. В условиях старения инфраструктуры и растущих требований к безопасности на производстве предприятия начинают активно искать решения, которые позволяют одновременно автоматизировать процессы и сократить издержки.

Внедрение умных кран-балок сегодня на российском рынке сегодня требует преодоления нескольких значимых барьеров.

- высокая стоимость зарубежных разработок, включая приобретение оборудования, его установку и последующее обслуживание, особенно в рамках санкционных ограничений;

- дефицит квалифицированного персонала, способного эффективно обслуживать и интегрировать интеллектуальные системы управления;

- адаптация оборудования под конкретные производственные условия. В некоторых случаях стандартные решения не подходят, что требует разработки индивидуальных проектов, увеличивающих время и затраты на внедрение.

Также стоит учитывать, что интеграция умных кран-балок в существующую инфраструктуру может потребовать модернизации других участков предприятия, что создает дополнительные технические и организационные барьеры.



Рис. 3. Блок-схема сравнения зарубежного и отечественного кранов

Ориентируясь на складскую и логистическую отрасли, модернизация умного крана может учитывать особенности работы в условиях повышенной интенсивности и разнообразия грузов. Вот направления, которые можно выбрать для разработки:

- *Оптимизация логистики и автоматизация процессов*

Разработка функций автоматической сортировки, укладки и перемещения грузов. Например, краны могут быть оснащены системами управления, которые позволяют автоматически выбирать оптимальный маршрут для груза с учетом текущей загрузки склада.

- *Интеграция со складскими системами управления*

Умный кран должен быть связан с системой управления складом WMS (Warehouse Management System), что позволит синхронизировать его работу с другими процессами, например, приемом или отгрузкой товаров.

- *Сенсорика и визуальные системы*

Для складов важно обеспечить точность работы с грузами, поэтому краны могут оснащаться системами компьютерного зрения или лидарами. Это позволит точно позиционировать груз, избегать ошибок при укладке и минимизировать риск повреждения.

- *Мобильность и автономная работа*

Умный кран может быть оснащен функцией автономного перемещения по складу с использованием навигационных систем. Это особенно актуально для крупных логистических центров, где задействовано несколько зон хранения.

- *Контроль и безопасность*

На складах часто работают люди, поэтому важны системы предотвращения столкновений и аварий. Интеграция умных зон, где кран автоматически ограничивает движение вблизи сотрудников, станет ключевым улучшением.

Заключение

Перспективы развития умных кран-балок, особенно в контексте российской промышленности, выглядят многообещающими, хотя и зависят от преодоления ряда текущих вызовов. Основным драйвером их развития является стремление предприятий повысить производительность и безопасность, а также интегрировать процессы управления грузоподъемным оборудованием в общую цифровую инфраструктуру.

Рост интереса к умным технологиям поддерживается государственными инициативами в области цифровизации промышленности, такими как программы импортозамещения и развитие технологий на базе искусственного интеллекта. Развитие отечественных систем управления, датчиков и сенсоров, а также их адаптация под локальные условия может стать основой для массового внедрения умных кран-балок на предприятиях.

Библиографический список

1. Konecranes. ESP.10 Mobile Harbor Cranes // Официальный сайт Konecranes. URL: <https://www.konecranes.com/index.php/port-equipment-services/mobile-harbor-cranes/esp10-mobile-harbor-cranes> (дата обращения 17.10.2024).
2. SmartCrane. Умные краны: особенности и технологии // Производственная практика. URL: https://up-pro.ru/library/production_management/optimization/smartcrane/ (дата обращения 17.10.2024).

© Антропов Р.И., 2024

УДК: 621.391

И.А. БАБУШКИН

babushkin.ilja@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Р. ФАРРАХОВ**,
канд. техн. наук, доцент **О.Е. ДАНИЛИН**

Уфимский университет науки и технологий

УСТРОЙСТВО С ТАКТИЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Аннотация: представленный текст поясняет принцип работы и внутреннее устройство ручки с тактильным откликом, в основе которой лежит управление сервоприводом с помощью микросхемы энкодера. Также в тексте рассматриваются реальные примеры применения технологии в автомобильной промышленности, игровой индустрии и в современных гаджетах, а также возможности устройства в быту и на производстве.

Ключевые слова: тактильная обратная связь; управление; многофункциональность; энкодер; сервопривод; считывание, передача

Введение

В современном мире существует большое количество устройств, позволяющих управлять различными объектами, будь то включение лампочки или сложнейшее промышленное оборудование. Все эти устройства управления физически взаимодействуют с человеком, однако лишь небольшая часть из них способная отвечать «касаниями». На самом деле, тактильная отдача невероятно важна для человека: это позволяет качественнее и оперативнее взаимодействовать с техникой. Обратный отклик позволяет пользователю ощутить, что его действие было воспринято должным образом, вследствие чего отсутствует необходимость проверять результат зрительно. В конечном итоге, совершение некоторых операций может стать просто машинальным, без придания конкретного смысла. Это значительно упрощает работу, сокращает время на ее исполнение, а также делает её выполнение более комфортным для пользователя. Именно для подобного применения может служить описанное ниже вращательное устройство с тактильным откликом.

Внутреннее устройство и принцип работы

Устройство содержит несколько ключевых элементов:

- сервопривод с внешним ротором (поворот + тактильная отдача)
- постоянный магнитик (вспомогательный предмет для определения текущего положения)
- микросхема энкодера (считывание текущего положения)
- дисплей (отображение текущей позиции + общие сведения режима работы)
- микроконтроллер (обработка приходящего сигнала с энкодера + управление моторчиком)
- светодиодная подсветка (индикация текущего положения)
- пластиковая ручка-барашек (физическое средство связи с электромотором)

Пользователю доступно 2 влияния на имеющуюся систему: поворот барашка (внешняя часть устройства, жестко связанная с ротором электромотора); клик или же легкое нажатие на экран устройства.

Работа при вращении

При повороте барашка осуществляется также поворот ротора, на торцевой стороне которого закреплен постоянный магнит. Микросхема

энкодера считывает его положение (положение барашка) и передает данные на вход микроконтроллера [2]. Он в свою очередь считывает и обрабатывает пришедший сигнал, далее в зависимости от выбранного режима, отправляет управляющий сигнал на сервопривод, который в свою очередь оказывает сопротивление прикладываемой силе человека [6].

Работа клика

Плата устройства чувствительна к деформации, посредством тензометрического датчика [11]. Для осуществления измерения требуется изготовить плату, которая будет слегка прогибаться при нажатии на центральную часть. Соответственно при клике (нажатии на дисплей) будет происходить легкая деформация платы; данное воздействие воспринимается датчиком, передается и обрабатывается в микроконтроллере, после чего на электромотор подается сигнал о создании небольшого толчка, который будет ощущаться пользователем, как продавливание кнопки, а имитация обратного хода кнопки будет осуществляться менее сильным, но таким же коротким толчком.

Возможные режимы устройства:

- вращение с указанием текущего значения в заданных пределах с определенным шагом (пример: 0...360, шаг 1° или же -100...100, шаг 10° и т.д.). В одном из вариантов режима работы пределов не существует, можно задать только шаг. Тогда ограничением будет являться только максимальное и минимальное число, которое способна выдать микросхема энкодера. В свою очередь минимальный шаг зависит от разрешающей способности энкодера в границах диапазона. В данном режиме обратная связь присутствует в виде маленького и очень слабого по силе толчка сервопривода на каждый шаг поворота.
- режим заполнения от нулевого (текущего положения/ либо имеется абсолютный ноль) до максимально заданного значения. При этом точка не может уходить за указанные пределы. Перемещаться можно только в 1м направлении. В данном случае, так же, как и описано в пункте выше минимальный шаг вращения соответствует максимальной разрешающей способности энкодера. Тактильный отклик присутствует на каждый шаг поворота барашка.



Рис. 1. Блок-схема устройства

- Режим логического переключения. 0-1. Вкл. - выкл. Точка также не может выходить за указанные пределы или находиться где-либо, кроме крайних значений. Среднее положение переключателя отсутствует на физическом уровне, но определено в памяти микроконтроллера. При отдалении от граничного положения, электромоторчик сопротивляется вращению

- пользователя, пытаясь вернуть точку в исходное положение. При небольшом отдалении от начального положения сила сопротивления невелика, увеличении угла поворота усилие возрастает. Когда точка переступает виртуальное среднее положение, моторчик докручивает барашек/ручку в сторону ближайшего положения.

- Режим нескольких состояний. Задается количество интервалов и значения на их границах. В таком случае точка будет иметь ограниченное количество позиций. Так же, как и в пункте выше, сервопривод сопротивляется и докручивает точку к самому близкому значению интервала.

- Режим меню. Задается несколько интервалов и соответствующие им функции, определяются средние положения интервалов. Электромотор сопротивляется или подкручивает положение в сторону центра текущего интервала. Клик по дисплею обозначает выбор установленного интервала.

Реальные примеры использования подобных систем

В настоящее время подобные системы вышеописанным уже используются автопроизводителями и производителями игровых аксессуаров и электронного оборудования. Технологии управления с использованием обратной связи уже применяются на современных автомобилях: механическая связь между рулевым колесом и колесами авто полностью отсутствует [8]. Тактильное воздействие пользователю передается через сервопривод благодаря датчикам угла поворота и датчикам усилия, расположенным на колесах автомобиля [9]. Первыми данные системы начали использовать такие известные компании, как Mercedes, Nissan, Citroen.

Производители игровых колес для симуляторных гонок используют технологию "Force Feedback". На самом деле она почти полностью повторяет систему электропривода реального автомобиля, но вместо датчиков угла поворота и усилия, используются уже сигналы, формируемые компьютером на основе игровых данных. Таким образом, игрок может полностью ощутить неровности трассы, поведение машины при резком прохождении поворотов или заносе, качество управления авто на различных типах дорожного покрытия (гравий, песок, асфальт, заснеженная дорога).

Компания Apple использует тактильную передачу в своих трекпадах на ноутбуках. Особенность заключается в полном отсутствии привычных нам

кнопок на тачпаде. Технология "Force Touch" с вибромотором "Tactic Engine" применяется на Macbook уже с 2015 года. Надавливание на трекпад считывается датчиками нажатия, которые активируют вибромоторы. Более того, в зависимости от силы нажатия пользователю доступны различные функции (быстрый просмотр файлов, скорость перемотки и прочее) [12]. Также под его поверхностью установлены несколько вибромоторчиков, что позволяет пользователю собственноручно настроить силу отклика.

Расширение функционала и возможные применения

По своей сути вышеописанные технологии и идея законченного устройства имеет большое количество возможностей. Основная идея состоит конечно же в использовании его как многофункционального меню, которое позволяет пользователю с комфортом переключаться между различными состояниями меню и осуществлять регулирование необходимых параметров, получая при этом тактильно приятную обратную связь. Более того, подобного рода органы управления значительно упрощают работу, так как пропадает необходимость зрительного контакта с объектом.

Пример использования:

Вы заходите в комнату и вместо того, чтобы нажать привычную пластиковую клавишу выключателя, легко поворачиваете барашек устройства. Небольшое приложенное усилие и электромотор докручивает до состояния "Включено". Далее сменяется режим работы и вам предлагается осуществить регулировку световой температуры и яркость. Для выключения света вам достаточно выбрать на дисплее необходимый сектор и слегка надавить на экран.

Еще один пример. Для запуска какого-либо оборудования необходимо пробудить экран нажатием и дальше следуя простой инструкции последовательных действий запустить установку.

Последовательность действий такая: Пробуждение > выбрать уровень доступа (инженер-технолог, оператор, программист, наладчик) > ввод пароля > выбор режима работы (автоматический, ручной) > действия с оборудованием на выбор (поднять, опустить, выдвинуть, включить цикл и прочее). После выбора действия пользователю (в зависимости от уровня доступа) открывается последовательный функционал регулируемых параметров (температура, время работы, скорость вращения, передвижения). Благодаря заранее заданному последовательному интерфейсу устройства, уменьшается вероятность человеческой ошибки (отсутствие данных параметров процесса, выполнение опасных перемещений без включения защиты и т. п.).

Таким образом, основным его преимуществом является многофункциональность, возможность создания последовательного интерфейса (что наиболее логично исходя из его размеров), значительное упрощение работы, приятный и точный тактильный отклик. Данное устройство может быть применимо в любой сфере деятельности, его функционал зависит лишь от требований пользователя.

Библиографический список

1. Куликов, И.А. “Микроконтроллеры: основы программирования и применения.” –М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2021. – 368 с.
2. Громов, С.Ю. “Энкодеры и их применение в системах автоматизации.” – СПб.: Питер, 2019. – 200 с.
3. Федоров, В.Н. “Современные технологии автоматизации: микросхемы, датчики и системы.” – М.: НИЦ ИНФРА-М, 2022. – 512 с.
4. Смирнов, И.В., Тихонов, Н.П. “Основы схемотехники.” – М.: Высшая школа, 2021. – 312 с.
5. Морозов, Д.С. "Системы обратной связи в электротехнике." – Казань: Казанская академия, 2022. – 250 с.
6. Петров, В.М. "Применение датчиков в управлении." – Томск: ТПУ, 2020. - 175 с.
7. Соловьев, Ю.А. "Основания работы сервоприводов." – Екатеринбург: Урал ЛТД, 2022. –190 с.
8. Федорова, Л.Д. "Инновационные технологии в автомобилестроении– Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2021. –160 с.
9. Морозов, А.П., Сидоров, И.В. “Инновационные технологии обратной связи: Применение в современных электроприборах – журнал технологий автоматизации 12(4): 221–230.
10. Кузнецов, Ю.Н. "Электродинамические системы управления: От теории к - практике." – Екатеринбург: УрФУ, 2018. -320 с. ISBN: 978-5-7996-1234-0.
11. Петров, Р.В. “Тензометрические датчики: современные решения и применение в устройствах”– Известия высших учебных заведений. Приборостроение 64(3): 45-54.
12. Семенов, Д. А. “Использование тактильной обратной связи в управлении пользовательским интерфейсом.”— Вестник информационных технологий 10(2): 75-82.

© Бабушкин И.А., 2024

УДК 62-523.8

Д.С. БАГРОВ

bagrov.dmitrij-s@ugatu.su

Науч. руковод. – д-р техн. наук., проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ВАРИАНТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РАДИОМАЯКОВ, СОПРЯЖЕННЫХ С РАДИОКОМПАСАМИ МАЛЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: в данной статье представлены схемы построения бортового радиокompаса для малых беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА), радиомаяки (радиориентеры) и варианты их реализации.

Ключевые слова: радиокompас; радиомаяк; радиориентер; малый беспилотный летательный аппарат.

С развитием технологий наблюдается тенденция к созданию более легких и компактных навигационных систем. В частности, использование микроэлектромеханических систем (МЭМС) и интеграция навигационных функций в единые модули, такие как контроллеры с функциями видеобработки, открывают новые горизонты для повышения эффективности МБПЛА. Эти разработки могут значительно улучшить автономность и надежность навигации в условиях, когда традиционные системы оказываются неэффективными. С увеличением применения МБПЛА в таких областях, как сельское хозяйство, мониторинг окружающей среды и поисково-спасательные операции, возникает необходимость в надежных навигационных системах. Радиокompасные системы могут стать критически важными для выполнения задач в условиях ограниченной видимости или отсутствия сигналов ГНСС [1-4].

Схемы построения бортового радиокompаса МБПЛА.

Будем рассматривать простейший случай навигационной задачи для МБПЛА, когда имеется всего один наземный радиориентер, и требуется (в отсутствие каких-либо других средств навигации, кроме инерциальной) установить вектор движения аппарата в нужном направлении, например, в определенную целевую точку или в «домашнюю» точку. Предположим, что текущие условия полета оказались такими, что командная радиолиния заглушена, отсутствуют или заглушены сигналы ГНСС, недоступны сигналы с видеопередатчика, и бортовая камера не дает четкой картины поверхности из-за низкой облачности или задымления. В таком случае радиокompасная система может оказаться единственным средством, способным спасти аппарат или вывести его на нужное направление. Рассмотрим далее возможные схемы построения бортового радиокompаса МБПЛА.

1. Бортовой радиокompас с вращающейся рамочной антенной.
2. Бортовой радиокompас с неподвижной рамочной антенной и гониометром.
3. Бортовой радиокompас с неподвижной рамочной антенной и квадратурной модуляцией сигналов.
4. Бортовой радиокompас с вращающейся направленной СВЧ-антенной.
5. Бортовой радиокompас с матрицей переключаемых направленных СВЧ-антенн.
6. Бортовое устройство с неподвижной направленной антенной (рис.1) и программно организованным пеленгованием радиориентира посредством вращения самого МБПЛА представлено на рис.2.

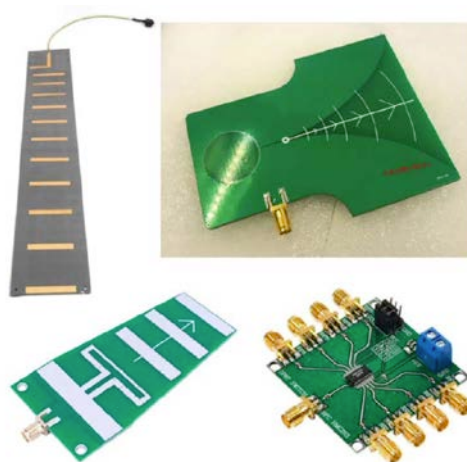


Рис. 1. Направленные антенны диапазонов 2,4 и 5,8 ГГц и антенный коммутатор на 8 входов

Антенная система в данном случае может быть выполнена как на базе рамочных антенн (при этом в качестве радиориентиров можно использовать средневолновые ПРС аэродромов, предполагаемая дальность действия будет порядка 50-100 км), так и на базе СВЧ-антенн (радиориентирами в этом случае могут являться специально устанавливаемые простые передатчики с дальностью действия до 20 км).

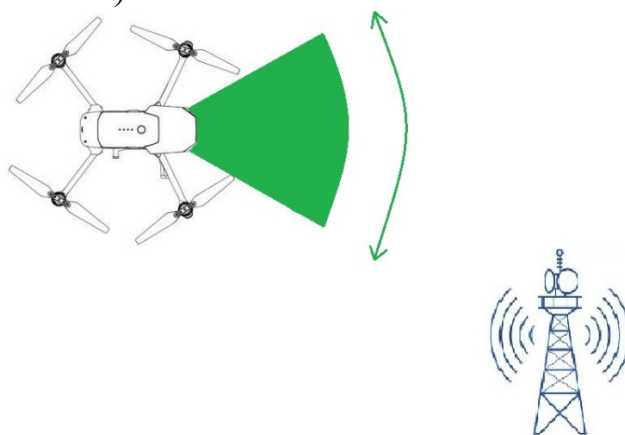


Рис. 2. Бортовое устройство с неподвижной направленной антенной и программно организованным пеленгованием радиориентира посредством вращения самого МБПЛА

Возможные варианты радиомаяков (радиориентиров) для радиоконпаса МБПЛА:

1. Приводная станция аэродрома – это наземный радиопередатчик ненаправленного излучения, размещённый в точке с известными координатами. Она работает в диапазоне частот от 120 до 1950 кГц и обеспечивает дальность действия до 150 км.

Основные характеристики приводной радиостанции:

Частотный диапазон: от 120 кГц до 1950 кГц.

Дальность действия: до 150 км.

2. Радиостанции и радиовышки имеют фиксированное местоположение и полосу частот в АМ и FM диапазонах.

Радиостанции АМ (Амплитудная модуляция):

Частотный диапазон: 530 кГц – 1700 кГц.

Дальность действия: может достигать до 1000 км в зависимости от мощности передатчика и условий распространения радиоволн.

Радиостанции FM (Частотная модуляция);

Частотный диапазон: 87.5 МГц – 108 МГц.

Дальность действия: обычно до 100 км, но может варьироваться в зависимости от высоты антенны и мощности передатчика.

3. Сброс маяков с коптера. Радиомаяки на основе интерфейса LoRa (Long Range) представляют собой эффективное решение для передачи данных на большие расстояния с низким энергопотреблением, что делает их идеальными для применения в радиомаячной навигации.

Основные характеристики радиомаяков на основе LoRa:

Дальность передачи: LoRa обеспечивает дальность передачи данных до 15 км в идеальных условиях и до 2-5 км в городских условиях.

Скорость передачи данных: Скорость передачи данных варьируется от 0,3 до 50 кбит/с в зависимости от настроек и условий связи. Это позволяет адаптировать систему под конкретные требования приложения, обеспечивая баланс между дальностью и скоростью.

Энергетическая эффективность: устройства на базе LoRa могут работать от одной батареи в течение нескольких лет благодаря низкому энергопотреблению. Это делает их особенно подходящими для автономных систем, таких как датчики и маяки, которые требуют длительной работы без обслуживания.

4. Для организации подрежима возврата домой (Return to Home), можно произвести установку дополнительно привода (приводного радиомаяка) в точку запуска МБПЛА с целью обозначения домашней точки.

Радиокомпасные навигационные системы для МБПЛА могут успешно применяться с целью повышения надежности и живучести БАС [5, 6]. Для их эффективного использования бортовая часть системы должна быть легкой и малогабаритной, она должна быть простой в реализации и доступной по стоимости. Из рассмотренных вариантов построения радиокомпасов МБПЛА наиболее перспективными можно считать:

- радиокомпас с неподвижной рамочной антенной и квадратурной модуляцией сигналов,
- радиокомпас с матрицей переключаемых направленных СВЧ-антенн,
- схему с неподвижной направленной антенной и пеленгованием радиориентира посредством вращения самого МБПЛА [7].

Из рассмотренных вариантов радиомаяков (радиориентиров) для радиокомпасов МБПЛА наиболее перспективными являются:

- радиомаяки на основе интерфейса LoRa,
- радиостанции и радиовышки АМ и FM диапазонов.

Библиографический список

1. Кудрявцев А.Ю., Хаютин А.М., Карманов А.Ю. Авиационные радиоэлектронные системы самолёта дальней авиации. Авиационные радионавигационные устройства и системы: учеб. пособие для курсантов. Челябинск: ЧВВАУШ (ВИ), 2011. Ч. I. 120 с.

2. Карташкин А.С. Авиационные радиосистемы. 3-е изд. М.: ИП РадиоСофт. 2015. 304 с.

4. Ковальчук И.Ф. Радионавигационное оборудование самолетов: учеб. пособие для учеб. заведений гражд. авиации. М.: Транспорт, 1991. 231 с.

5. Ашихмин А.В., Виноградов А.Д., Рембовский А.М., Сладких В.А. Способ однопозиционного местоопределения источников радиоизлучения с использованием бортового радиопеленгатора беспилотного летательного аппарата вертолетного типа // Системы управления, связи и безопасности. 2021. № 4. С. 40-57.

6. Ашихмин А.В., Пастернак Ю.Г., Першин П.В., Разинкин К.А., Рембовский Ю.А., Федоров С.М. Антенная решетка для полноазимутального пеленгования источников радиоизлучения с произвольной поляризацией // Радиотехника. 2018. №7. С. 60-65.

7. Фетисов В.С., Багров Д.С., Кодо Р.Р. Радиокомпасные навигационные системы для малых беспилотных летательных аппаратов // Актуальные проблемы науки и образования в современном вузе: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, Стерлитамак, 2024. С.324-331.

© Багров Д.С., 2024

УДК 629.783.05

В.А. БАДРИТДИНОВ

badritdinovv@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.Л. ТИМОФЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ГЛОБАЛЬНАЯ НАВИГАЦИОННАЯ СПУТНИКОВАЯ СИСТЕМА ГЛОНАСС: ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Аннотация: в статье представлен комплексный анализ текущего состояния и перспектив развития российской глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС. Особое внимание уделяется вопросам повышения точности позиционирования. Рассматриваются инновационные решения по модернизации как космического, так и наземного сегментов системы. На основе проведенного анализа сформулированы рекомендации по оптимизации работы ГЛОНАСС.

Ключевые слова: ГЛОНАСС; спутниковая навигация; орбитальная группировка; навигационные сигналы; космический сегмент; наземный комплекс управления; точность позиционирования; помехоустойчивость

Введение

История создания системы ГЛОНАСС берет свое начало в середине 1970-х годов, когда было принято решение о разработке отечественной спутниковой навигационной системы. Первый спутник был запущен в 1982 году, а к 1995 году система достигла полного развертывания орбитальной группировки. После периода частичной деградации в конце 1990-х годов, благодаря государственной поддержке, система была восстановлена и модернизирована. Система ГЛОНАСС создавалась с целью обеспечения глобального непрерывного навигационного обслуживания и предоставления высокоточного позиционирования как для военных, так и для гражданских потребителей. Важнейшими задачами также являются обеспечение независимости России в сфере спутниковой навигации и интеграция в международное навигационное пространство [1, 2].

В мировой спутниковой навигации ГЛОНАСС занимает положение второй полностью функционирующей системы после GPS. Существенным отличием от других систем является использование частотного разделения сигналов, что обеспечивает дополнительную помехоустойчивость. В настоящее время система активно интегрируется с другими навигационными системами, включая GPS, Galileo и BeiDou.

Архитектура системы ГЛОНАСС

Орбитальная группировка ГЛОНАСС представляет собой комплекс из 24 спутников, размещенных в трех орбитальных плоскостях. Космические аппараты находятся на средневысотных круговых орбитах на высоте около 19100 км с наклоном 64,8 градуса и периодом обращения 11 часов 15 минут.



Рис. 1. Расположение спутников ГЛОНАСС вокруг земной орбиты

В системе используются различные типы космических аппаратов. Базовыми являются спутники второго поколения ГЛОНАСС-М. Современное поколение представлено аппаратами ГЛОНАСС-К с улучшенными характеристиками. Перспективное развитие связано с внедрением спутников ГЛОНАСС-К2, обладающих расширенным функционалом.

Принципы функционирования спутников основаны на использовании высокоточной бортовой шкалы времени, формировании и излучении навигационных сигналов, приеме и обработке команд управления, а также реализации автономной навигации. Навигационные сигналы системы передаются в различных частотных диапазонах. Диапазон L1 (1602 МГц) используется для передачи открытого сигнала стандартной точности. В диапазоне L2 (1246 МГц) передается сигнал высокой точности. Новейшим дополнением является диапазон L3, предназначенный для передачи гражданского сигнала с кодовым разделением [3].

Центр управления системой, расположенный в подмосковном Краснознаменске, осуществляет планирование работы системы, контроль

состояния спутников, формирование навигационной информации и управление всеми элементами системы. Его работа обеспечивается разветвленной сетью наземных станций различного назначения.



Рис. 2. Наземный комплекс управления ГЛОНАСС

Сеть станций слежения включает в себя командно-измерительные станции, квантово-оптические станции, станции сбора измерений и станции закладки информации. Система контроля целостности обеспечивает непрерывный мониторинг навигационного поля, контроль качества навигационных сигналов, формирование дифференциальных поправок и своевременное информирование потребителей о сбоях в работе системы.

Высокоточная синхронизация времени достигается благодаря использованию центрального синхронизатора, сети водородных стандартов частоты, системы сличения шкал времени и специализированных средств передачи эталонных сигналов. Обработка сигналов в приемной аппаратуре имеет ряд особенностей, связанных с частотным разделением каналов, применением помехоустойчивого кодирования, необходимостью компенсации ионосферных задержек и реализацией многолучевой обработки сигналов.

Потребители системы ГЛОНАСС представлены различными категориями пользователей. К ним относятся авиационные потребители, морские потребители, наземные потребители и космические потребители. Для каждой категории разработаны специализированные типы аппаратуры, учитывающие специфику применения.

Технические характеристики системы

Система ГЛОНАСС обеспечивает высокую точность определения координат. При использовании гражданского сигнала точность в плане составляет 5-10 метров, по высоте достигает 10-15 метров. Особое внимание уделяется точности синхронизации времени. Внутрисистемная синхронизация обеспечивается с точностью до 20 наносекунд, точность относительно UTC(SU) составляет 50 наносекунд, а при применении фазовых измерений может быть достигнута точность до 0,3 наносекунд [4].

На точностные характеристики системы влияет ряд факторов, включая геометрический фактор созвездия спутников, погрешности эфемерид и часов, ионосферные и тропосферные задержки, а также эффекты многолучевого распространения сигналов

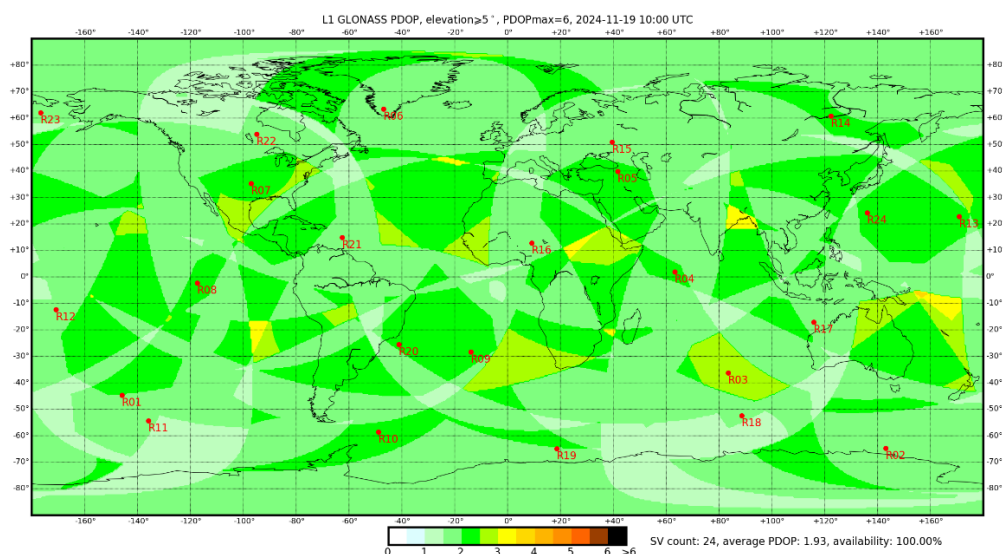


Рис. 3. Геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГЛОНАСС в пространстве (PDOP)

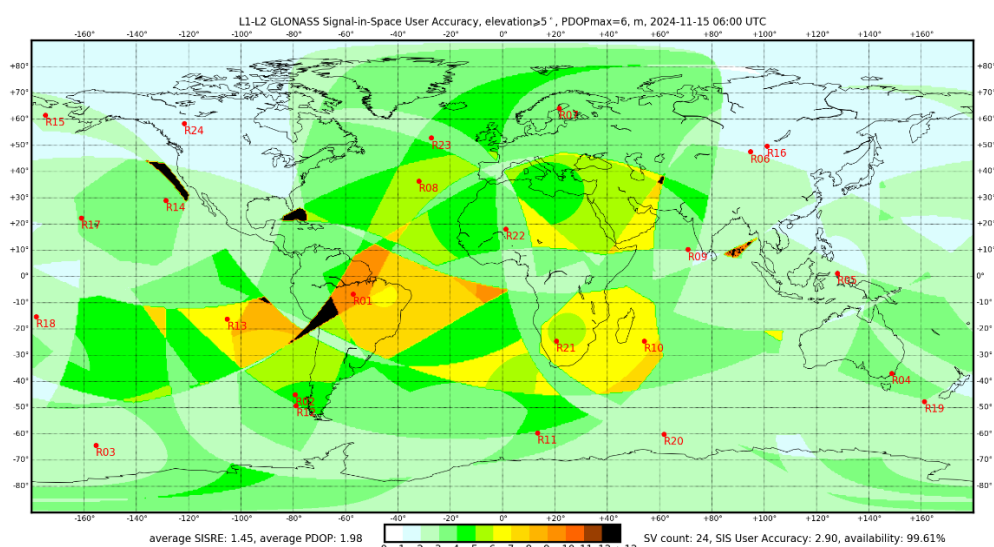


Рис. 4. Погрешность местоопределения за счет космического сегмента (Signal-in-Space User Accuracy – SIS UA)

Коэффициент потери точности – коэффициент потери точности совокупного определения местоположения (PDOP – position deletion of precision) – определения местоположения (DOP).

Надежность системы ГЛОНАСС характеризуется высокими показателями. Для повышения надежности применяется комплекс методов, включающий резервирование бортовой аппаратуры, автономный контроль целостности, систему мониторинга и диагностики, а также многоуровневую защиту от помех различного происхождения. Резервирование компонентов системы реализуется на всех уровнях. Поддерживается орбитальный резерв спутников, осуществляется дублирование наземных станций, обеспечивается резервирование каналов связи и дублирование систем электропитания [5].

Перспективы развития системы

Модернизация космического сегмента ГЛОНАСС связана с разработкой и внедрением новых типов космических аппаратов. Спутники серии ГЛОНАСС-К2 характеризуются улучшенными техническими характеристиками, увеличенным сроком активного существования до 12-15 лет, расширенным составом навигационных сигналов и возможностью осуществления межспутниковых измерений и связи. В области совершенствования навигационных сигналов ведется работа по внедрению сигналов с кодовым разделением, повышению их помехоустойчивости, улучшению структуры навигационного сообщения и оптимизации спектральных характеристик.

Надежность системы повышается за счет совершенствования бортовых систем, улучшения температурной стабильности, повышения радиационной стойкости и оптимизации энергопотребления. Развитие наземной инфраструктуры ГЛОНАСС включает масштабную модернизацию станций слежения. Производится обновление измерительного оборудования, повышается точность измерений, расширяется сеть станций и автоматизируются процессы управления.

Системы контроля совершенствуются путем внедрения новых алгоритмов мониторинга, улучшения оперативности контроля, повышения достоверности данных и развития средств диагностики. Особое внимание уделяется развитию систем мониторинга, включая создание новых измерительных пунктов, совершенствование алгоритмов обработки данных и интеграцию с международными системами [6].

Современное развитие спутниковых навигационных систем требует постоянного совершенствования методов обработки и передачи сигналов. Голографическое кодирование представляет собой инновационный подход к повышению помехоустойчивости и точности навигационных определений. В контексте системы ГЛОНАСС данная технология открывает новые возможности для улучшения характеристик навигационного сервиса [7].

Голографическое кодирование основано на принципах распределенного хранения информации, аналогичных оптической голографии. При таком подходе навигационное сообщение распределяется по всей длительности сигнала таким образом, что каждый участок сигнала содержит информацию о целом сообщении. Это достигается путем применения специальных математических преобразований, создающих многомерную структуру сигнала. Основное преимущество голографического кодирования заключается в том, что даже при значительном искажении или потере части сигнала, возможно восстановление исходной информации с высокой степенью достоверности. Это особенно важно в условиях многолучевого распространения и действия различных помех, характерных для спутниковой навигации.

Существенным преимуществом предлагаемого подхода является возможность его поэтапного внедрения без нарушения совместимости с существующими сигналами ГЛОНАСС. Это может быть достигнуто путем передачи голографически кодированных сигналов в новых частотных диапазонах параллельно с традиционными сигналами.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что система ГЛОНАСС достигла существенного прогресса в своем развитии и продолжает совершенствоваться. Текущее состояние системы характеризуется полным развертыванием орбитальной группировки, высокой точностью навигационных определений, надежным функционированием всех сегментов и широким спектром предоставляемых услуг. Для дальнейшего развития системы рекомендуется продолжить модернизацию космического сегмента, расширять сеть наземных станций, совершенствовать помехозащищенность сигналов. Применение голографического кодирования в системе ГЛОНАСС представляет собой перспективное направление развития, позволяющее существенно улучшить характеристики системы.

Библиографический список

1. Официальный сайт ГЛОНАСС. URL: <https://www.glonass-iac.ru> (дата обращения 17.10.2024).
2. Системы спутниковой навигации. URL: <https://astrobooks.ru/files/original/94153d84be09c8f82ae3c235ba879ad5.pdf> (дата обращения 17.10.2024)
3. Частоты ГЛОНАСС и GPS. URL: <https://ufin.online/blog/chastoty-glonass-i-gps/> (дата обращения 17.10.2024)
4. Системы контроля и управления ГЛОНАСС. URL: https://astro.tsu.ru/TGP/text/4_2.htm (дата обращения 17.10.2024)
5. Глобальные навигационные спутниковые системы. URL: <https://www.miigaik.ru/upload/iblock/38c/38c545964b4b1365e6a80c46b3a00f57.pdf> (дата обращения 17.10.2024)

6. Как развивается система спутниковой навигации ГЛОНАСС.
URL: <https://skif-n.ru/blog/tag/glonass/page/2/> (дата обращения 17.10.2024)

7. Применение голографического кодирования для повышения надежности передачи информации в зашумленных каналах связи.
URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jun24/8/text.pdf> (дата обращения 17.10.2024)

© Бадритдинов В.А., 2024

УДК 621.316.9:681.5

Д.Э. БАЙРАМОВ

den4ik.baid@mail.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА БЕСПЕРЕБОЙНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ АВТОНОМНОЙ СТАНЦИИ ПЕРЕДАЧИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Аннотация: данная работа посвящена изучению альтернативных источников энергии и их применению. Целью данной работы является разработка системы бесперебойного питания для автономной станции передачи измерительной информации.

Ключевые слова: tnergy Harvesting (EH); автономная станция; бесперебойное питание; альтернативные источники энергии.

Автономные станции передачи измерительной информации представляют собой устройства, которые позволяют собирать, обрабатывать и передавать данные без необходимости подключения к источникам питания или сетям. Эти системы находят широкое применение в различных областях, включая мониторинг окружающей среды, управление ресурсами и автоматизацию процессов.

Преимущества автономной станции передачи измерительной информации:

- Автономность: Станции могут работать без постоянного человеческого контроля, что снижает затраты на эксплуатацию.

- Доступность данных: Современные технологии позволяют передавать данные в реальном времени через интернет или мобильные сети, что упрощает доступ к информации [1].

- Разнообразие применений: Станции могут быть адаптированы для различных задач в зависимости от потребностей пользователя, включая экологический мониторинг, контроль за качеством воды и управление ресурсами [1, 2].

Система бесперебойного питания для автономной станции передачи измерительной информации играет важную роль в обеспечении надежности и непрерывности работы автономной станции. Эффективная система бесперебойного питания является ключевым элементом для обеспечения стабильной работы автономных станций передачи измерительной информации, минимизируя риски, связанные с перебоями в электроснабжении.

Применение Energy Harvesting в системах бесперебойного питания.

Energy Harvesting — это технология, позволяющая извлекать и преобразовывать окружающую энергию в электрическую, что открывает новые возможности для систем бесперебойного питания. ЕН активно внедряется в различные устройства, включая источники бесперебойного питания, что позволяет значительно улучшить их функциональность и эффективность.

Основные направления применения технологии ЕН:

1. Беспроводные сенсорные сети:

Energy Harvesting особенно актуальна для беспроводных сенсорных сетей, которые требуют постоянного питания для передачи данных. Устройства, использующие ЕН, могут работать без батарей, что снижает затраты на обслуживание и замену источников питания [3].

2. Автономные системы:

Energy Harvesting позволяет создавать автономные источники бесперебойного питания (ИБП), которые могут использовать различные источники энергии, такие как солнечные панели или кинетическая энергия от вибраций. Это особенно полезно в удаленных или труднодоступных местах, где традиционные источники энергии недоступны.

Преимущества интеграции Energy Harvesting:

- Экономия ресурсов: Уменьшение зависимости от батарей и внешних источников питания позволяет значительно сократить эксплуатационные расходы.
- Долговечность: Устройства, обладающие данной технологией, имеют более длительный срок службы благодаря отсутствию необходимости в регулярной замене батарей.
- Экологичность: Технология способствует снижению количества отходов от использованных батарей и уменьшению углеродного следа [4].

Прогресс в энергопотреблении электронных устройства достиг уровня микроватт. При таком уровне энергопотребления для обычных химических батарей срок службы может совпадать со сроком службы устройства. Но, в ряде применений, замена или подзарядка обычной батареи может быть затруднена, либо невозможна.

Технология Energy harvesting представляет широкий выбор источников альтернативной энергии. В зависимости от условий эксплуатации сборщиками такой энергии могут быть: солнечные батареи, пьезоэлектрические утилизаторы энергии механических вибраций, электромагнитные утилизаторы энергии механических вибраций, утилизаторы энергии электромагнитных

колебаний (радиоволн), утилизаторы тепловой энергии. Сравнительная характеристика приведена в таблице 1.

Практические схемы подключения

Для создания эффективных автономных систем беспроводных датчиков необходимы микроконтроллеры и преобразователи, способные минимизировать энергопотребление и эффективно использовать энергию из маломощных источников. В настоящее время существуют и те, и другие, но для полной реализации проекта необходима высокоэффективная схема, способная преобразовывать выходную энергию преобразователя в полезное напряжение [5].

Таблица 1
Сравнительные характеристики утилизаторов рассеянной энергии

Тип утилизатора энергии	Мощность в расчете на единицу площади или объема	Примерное выходное напряжение	Рабочие условия
Солнечные батареи	до 100 мВт/см ² на улице, 100 мкВт/см ² в помещении	0.5 В и более	Внешнее освещение
Пьезоэлектрические утилизаторы энергии механических вибраций	10 ... 200 мкВт/см ³	10 ... 20 В и более	Внешние вибрации в диапазоне единиц герц - десятков килогерц
Электромагнитные утилизаторы энергии механических вибраций	1 ... 2 мкВт/см ³	сотни милливольт	Внешние вибрации в диапазоне единиц - сотен герц
Утилизаторы энергии электромагнитных колебаний (радиоволн)	0.0002...1 мкВт/см ²	десятки милливольт - единицы вольт	Близость к источникам излучения
Утилизаторы тепловой энергии	50...100 мкВт/см ² на °С	10 ... 100 мВ	Поверхности перепадом температур

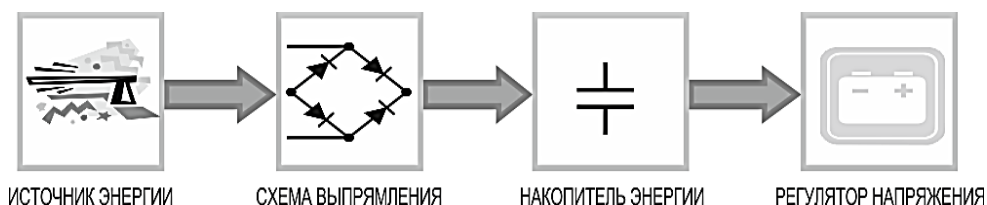


Рис. 1. Компоненты системы сбора энергии

На рис. 1 изображена система сбора энергии, содержащая источник/преобразователь энергии, элемент накопления энергии и средства преобразования накопленной энергии в полезное стабилизированное напряжение. В некоторых случаях между преобразователем и накопительным

элементом может потребоваться выпрямитель для защиты преобразователя от обратного поступления энергии, или, в случае использования пьезоэлектрического устройства, для выпрямления переменного напряжения.

Световая энергия может быть напрямую преобразована в электрическую при помощи солнечных элементов, ставших в последнее время весьма недорогими и легкодоступными в разных форматах. Хотя поток света Солнца на поверхности Земли в солнечный полдень порой достигает примерно 1 кВт/м^2 (100 мВт/см^2), величина доступной энергии при ее преобразовании может изменяться от 100 мкВт/см^2 внутри помещения до 7500 мкВт/см^2 и более снаружи.

Уровни энергии искусственного освещения, как правило, существенно ниже, а его спектр может сильно отличаться от спектра солнечного света, на который, как правило, ориентируются разработчики солнечных батарей. Световая энергия Солнца доступна только в дневное время, причем она может существенно зависеть от погодных условий, поэтому, чтобы обеспечить работу электронных приборов при ее отсутствии, например, ночью или в пасмурный день, необходимы запасующие электрическую энергию устройства (аккумуляторные батареи или суперконденсаторы). То же самое можно сказать об искусственном освещении, которое также редко бывает постоянным. Соответственно, с запасом должна быть выбрана и мощность солнечной батареи.

Для питания современных однокристалльных микропроцессорных устройств с приемопередатчиками достаточно солнечной батареи примерно такой же площади, как и кристалл микросхемы, соответственно, разумным подходом выглядит их интеграция в одно устройство. Очевидными примерами применения утилизаторов световой энергии в быту могут служить садовые светодиодные светильники, накапливающие энергию солнечного света в дневное время в аккумуляторной батарее, а затем отдающие ее при наступлении темноты (искусственное освещение), а также электронные калькуляторы и часы с солнечными батареями.

Для оптимального согласования солнечной батареи с нагрузкой, в частности, по критерию максимального отбора мощности, может использоваться входной преобразователь напряжения DC-DC типа (постоянное напряжение в постоянное). Для того, чтобы обеспечить требуемый уровень напряжения на нагрузке, независимо от уровня зарядки аккумуляторной батареи, необходим также выходной преобразователь напряжения DC-DC. Возможный принцип построения такой схемы показан на рис. 2 [5].

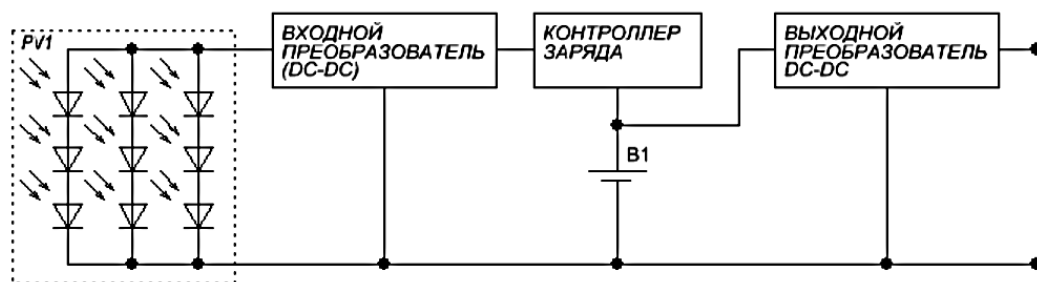


Рис. 2. Схема преобразователя света на солнечной батарее с преобразователями напряжения и контроллером заряда аккумуляторной батареи:
PV1 - солнечная батарея, B1 - аккумуляторная батарея

Специализированная микросхема LTC3588-1.

LTC3588-1 — микросхема от Linear Technology, предназначенная для управления процессами аккумулирования энергии. В LTC3588-1 реализована функция частичного отключения при падении уровня входного напряжения с гистерезисом, обеспечивающего потребление тока в этом состоянии менее 1 мкА. Микросхема находится в энергосберегающем режиме, позволяя тем временем заряду аккумулироваться во входном конденсаторе до тех пор, пока накопленной энергии не станет достаточно для ее эффективного преобразования встроенным синхронным DC/DC-конвертором. [5].

На рис. 3 показана зависимость тока покоя от входного напряжения в энергосберегающем режиме. Ток покоя неуклонно увеличивается с ростом входного напряжения, однако его значение не превышает 700 нА. Это означает, что даже весьма незначительный источник тока способен зарядить входную ёмкость до уровня, необходимого для активации преобразователя, и обеспечить требуемое напряжение на выходе. Зарядив выходную емкость, встроенный импульсный преобразователь выключается, при этом потери на входе и выходе минимальны. При входном напряжении 4,5 В и требуемом значении на выходе, суммарный ток покоя составляет всего 950 нА. Минимальные значения токов покоя в спящем режиме и в промежутках между включениями встроенного DC/DC – преобразователя, так и при отключении устройства, при низком напряжении на входе позволяют накапливать максимально возможное количество энергии во входной цепи даже при очень слабых токах.

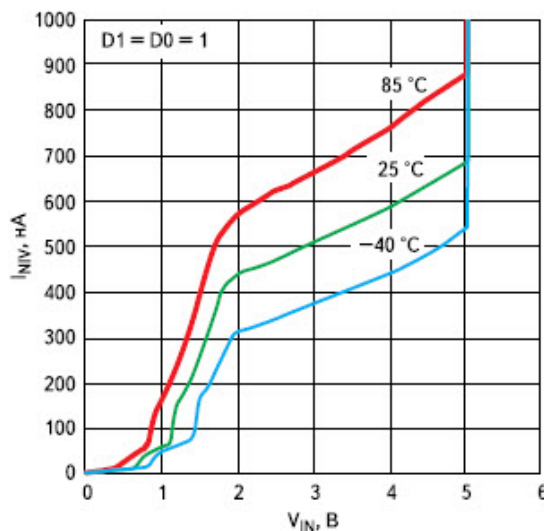


Рис. 3. Зависимость тока покоя в режиме пониженного энергопотребления при низком входном напряжении

В активном режиме DC/DC способен отдавать в нагрузку до 100 мА тока. Уровень выходного напряжения задается по двум выводам и имеет четыре возможных значения: 1,8, 2,5, 3,3 и 3,6 В, подходящие для питания микроконтроллеров, датчиков и беспроводных трансиверов. Несмотря на то, что потребляемый ток в активном режиме работы DC/DC значительно больше, чем в спящем режиме, он тем не менее пренебрежимо мал по отношению к току, отдаваемому в нагрузку: это обеспечивает высокую эффективность в широком диапазоне нагрузок.

Пример подключения солнечной батареи к LTC3588-1 показана на рис.4.

Солнечные источники питания могут служить заменой батарейного питания во многих устройствах. Однако зачастую интерес представляет реализация двойной цепи питания, где основное питание за счет панели будет дополняться резервным от батареи. Такое решение не только обеспечивает большую надежность устройства, но и расширяет возможности его использования. Например, при отсутствии освещения, система может работать при помощи резервной батареи и обеспечивать непрерывную передачу данных.

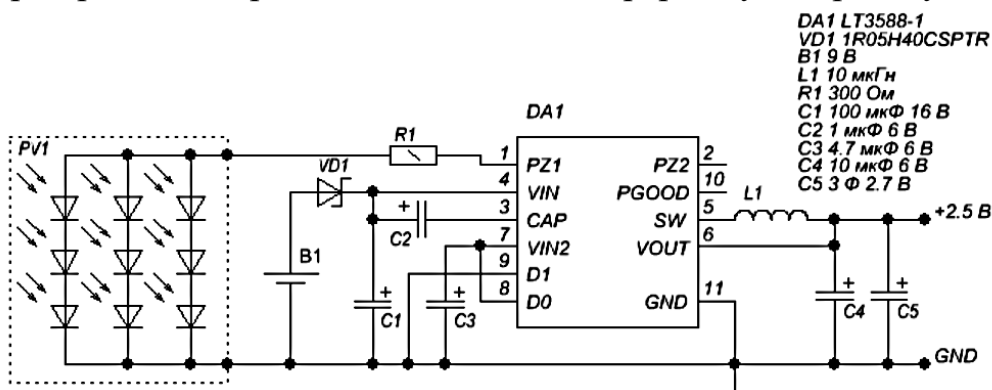


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная утилизатора энергии солнечной батареи на микросхеме LT3588-1 с резервной батареей

При зарядке входной емкости от солнечной панели через встроенный мостовой выпрямитель, последовательно включенный с батареей, диод предотвращает протекание обратного тока. На схеме изображен вариант с подключением 9-В батареи, однако возможно подключение целого блока из нескольких батарей. Основным ограничением здесь является результирующее напряжение блока, которое не должно быть выше 18 В, максимально допустимого напряжения от низкоимпедансного источника для LTC3588-1. При расчете подобных схем следует выбирать батарею так, чтобы пиковые значения напряжений на солнечной панели превышали напряжение батареи. Иначе питание схемы будет непрерывно осуществляться только за счет батареи [5].

Возможно подключение нескольких панелей к общему входу с использованием блокирующих диодов. Таким образом, можно организовать систему с несколькими солнечными батареями, сориентированными в различных направлениях для обеспечения питания схемы в течение всего дня.

Библиографический список

1. Калинов Г.А., Лысаков А.В., Римлянд В.И. Автономная измерительная станция системы сбора гидрологической информации // Вестник ТОГУ, 2010, № 2 (17).

2. [Электронный ресурс]: <https://izmerkon.ru/podderzhka/publikaczi/avtonomnyie-izmeritelnyie-sistemyi.html>

3. [Электронный ресурс]: В.Майская. Альтернативные источники энергии. Освоение "даровой" энергии: <https://www.electronics.ru/journal/article/308>

4. [Электронный ресурс]: <http://www.enocean.ru/technology/energy-harvesting/>

5. [Электронный ресурс]: https://imlab.narod.ru/Energy/Energy_Harvesting/Energy_Harvesting.htm

© Байрамов Д.Э., 2024

Т.З. БИКМЕТОВ

timur.bikmetov.03@gmail.com

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.Х. ЯСОВЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ИЗМЕРЕНИЕ ЗАЗОРА ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация: в статье описаны волоконно-оптические методы измерения зазоров лопаток газотурбинных двигателей (ГТД). Приведены принципы работы системы, основные формулы и результаты моделирования. Рассмотрены преимущества метода и предложены рекомендации по его оптимизации.

Ключевые слова: газотурбинный двигатель; зазор; волоконно-оптический метод; числовая апертура; интенсивность потока.

Введение

Точность измерения зазоров между лопатками ротора и корпусом играет важную роль в эффективности газотурбинных двигателей. Традиционные методы измерения часто не подходят из-за высоких температур и вибраций, что делает волоконно-оптические методы перспективными. Они позволяют проводить измерения с высокой точностью и устойчивостью к экстремальным условиям [1-3].

Цель работы — изучить параметры волоконно-оптической системы для измерения зазоров и предложить рекомендации по её настройке.

Принцип волоконно-оптического метода

Основой волоконно-оптической системы измерения зазора является способность оптического волокна направлять и улавливать световые сигналы, отражённые от поверхности объекта [4-7].

Этапы измерения

1. Формирование и передача излучения: источник света (лазерный диод) генерирует поток излучения, который через передающее волокно направляется на поверхность лопатки.

2. Отражение и приём сигнала: отражённый поток улавливается приёмным волокном и передаётся на фотоприёмное устройство.

3. Обработка сигнала: фотоприёмное устройство преобразует интенсивность светового сигнала в электрический сигнал, пропорциональный угловому положению лопатки.

Преимущества метода заключаются в его высокой точности, возможности работы в условиях высоких температур и быстром действии, что позволяет использовать систему в реальном времени.

Математическая модель

Интенсивность отраженного сигнала зависит от углового смещения и параметров волокна, таких как числовая апертура. Модель можно представить следующим уравнением:

$$I(\theta, NA) = I_0 \cdot \exp\left(-\alpha \frac{\theta^2}{NA}\right),$$

где:

I_0 — начальная интенсивность излучения;

α — коэффициент рассеяния, определяемый материалом поверхности;

θ — угловое смещение;

NA — числовая апертура оптического волокна.

Числовая апертура NA связана с углом распространения света:

$$\phi = 2 \arcsin(NA),$$

где ϕ — угол конуса светового потока.

Чем выше NA , тем шире угол захвата света волокном, что снижает чувствительность системы к угловым смещениям, но уменьшает абсолютное значение отражённого потока.

Результаты моделирования и графический анализ

Для анализа системы были рассчитаны значения интенсивности при разных числовых апертурах NA : 0.1, 0.22, 0.5. На рис. 1 представлена зависимость потока излучения I от углового смещения θ при различных числовых апертурах.

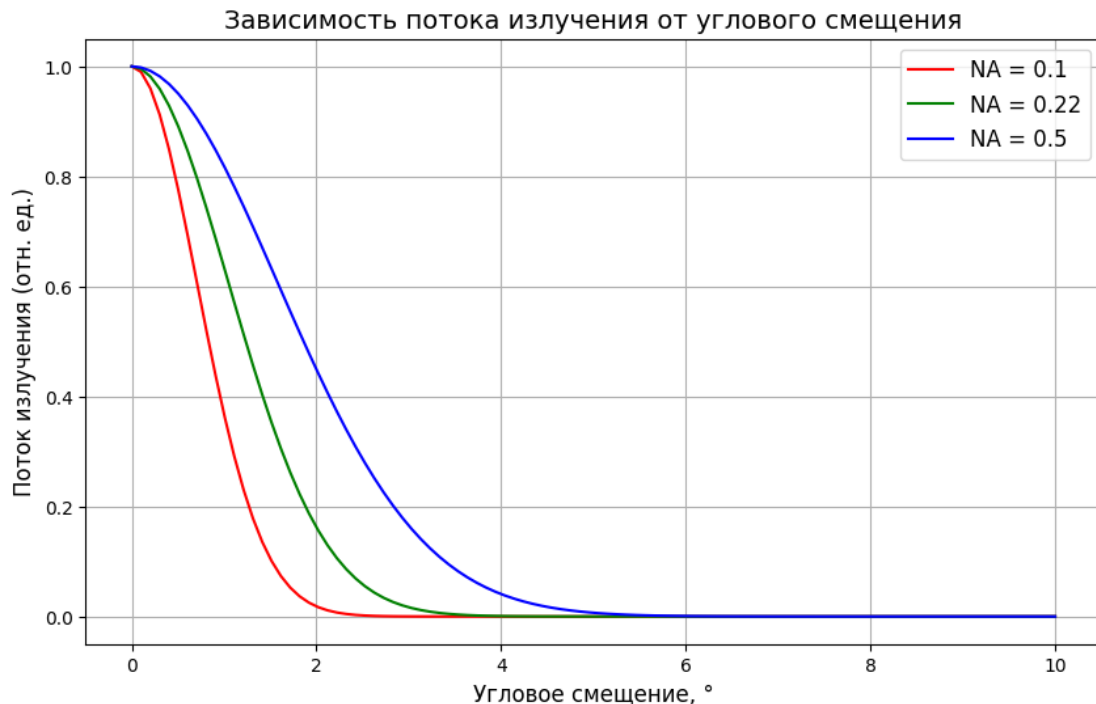


Рис. 1. График зависимости потока излучения от углового смещения

- Для $NA = 0.1$ наблюдается резкое снижение потока при увеличении углового смещения. Это демонстрирует высокую чувствительность системы, но требует точного монтажа.

- Для $NA = 0.22$ снижение потока происходит более плавно, что обеспечивает хороший баланс между чувствительностью и устойчивостью.

- Для $NA = 0.5$ поток излучения остаётся относительно стабильным, однако его уровень значительно ниже, что ограничивает точность измерений.

Заключение

1. Волоконно-оптические методы применяются для измерения зазоров в ГТД благодаря их точности и устойчивости.

2. Оптимальная числовая апертура для большинства задач $NA= 0.22$.

3. Модель может использоваться для проектирования измерительных систем.

Библиографический список

1. С.Ю. Боровик, Ю.Н. Секисов, О.П. Скобелев. Проблемы измерения радиальных зазоров в экстремальных условиях проточной части газотурбинного двигателя и их решение на основе применения одновитковых вихретоковых датчиков // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ. – 2014. – С. 6928-6937

2. Sobey A.J., Suggs A.M. Control of Aircraft Powerplants – Wiley, 1963. 432 p.

3. Иноземцев А.А. Авиационный двигатель ПС-90А. – Физматлит, 2007.

4. Минеев А.В., Ясовеев В.Х. Анализ средств измерения радиальных зазоров по аспекту метрологического обеспечения. В сборнике: САПР и моделирование в современной электронике. Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции. Под редакцией Л.А. Потапова, А.Ю. Дракина. 2018. С. 183-189.

5. Минеев А.В., Ясовеев В.Х. Вопросы измерений радиальных зазоров. В сборнике: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.М. Шляндина. 2018. С. 55-58.

6. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 504 с. — С. 33.

7. Стешаков Е.Г., Молокович И.Н. Измерение радиального зазора в компрессорных машинах волоконно-оптическим методом. Журнал Авиационные двигатели, №1 (6), 2020. — С. 65–70.

© Бикметов Т.З., 2024

УДК 681.121.89.082.4

А.Р. ГАЗИЗОВ

artur.gazizov16@gmail.com

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.Х. ЯСОВЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБЛАСТИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ РАСХОДОМЕРОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация: данная статья исследует современные технологии в ультразвуковых расходомерах, включая использование микроконтроллеров MSP430FR6047, их применение в нефтегазовой отрасли. Описаны преимущества метода времени пролета (ToF) в измерении расхода.

Ключевые слова: ультразвук; измерение расхода; измерительные модули; точность; промышленные приложения.

Ультразвуковые расходомеры представляют собой современный инструмент для измерения расхода жидкостей и газов, который активно используется в разных сферах промышленности. Эти устройства ценятся за высокую точность, надежность и способность функционировать в сложных условиях, что делает их особенно востребованными в нефтегазовом секторе. Принцип их работы базируется на анализе времени прохождения ультразвуковых сигналов через поток среды. Технология времени пролета (ToF) позволяет точно измерять скорость потока и объем вещества, снижая вероятность ошибок. Благодаря использованию современных микросхем аналого-цифрового преобразования (АЦП), расходомеры обеспечивают минимальные погрешности и позволяют обрабатывать данные в режиме реального времени. В нефтегазовой отрасли такие приборы применяются для учета и контроля транспортировки нефти, газа и их производных, демонстрируя надежность даже в условиях экстремальных температур и высокого давления. С развитием цифровых технологий, включая усовершенствование АЦП, эффективность ультразвуковых расходомеров значительно возросла. Это открыло новые возможности для их интеграции в системы управления и удаленного мониторинга, делая их не только точным, но и универсальным инструментом для оптимизации производственных процессов [1,2].

В данном исследовании рассмотрены современные технологии ультразвуковых расходомеров, их применение в нефтегазовой отрасли и перспективы дальнейшего развития.

Принцип работы ультразвукового расходомера

Ультразвуковые расходомеры функционируют, измеряя скорость потока

жидкостей или газов с помощью ультразвуковых сигналов. Наиболее популярным методом является метод времени пролета (Time of Flight, ToF), который основывается на определении времени, за которое ультразвуковой импульс перемещается между передающим и принимающим устройствами, размещенными на трубопроводе. Этот подход позволяет точно оценивать скорость потока, так как разница во времени прохождения сигнала по ходу потока и против него пропорциональна скорости движения среды. Такой способ измерений отличается высокой точностью и применяется в различных промышленных процессах для учета расхода и оптимизации операций.

Основной принцип ToF

В расходомерах, использующих метод ToF, устанавливаются два ультразвуковых преобразователя, расположенных под углом относительно друг друга. При движении среды ультразвуковой сигнал, передающийся по направлению потока, достигает приемника быстрее, чем сигнал, движущийся против потока. Измеряя временную разницу между прохождением сигналов в обоих направлениях, можно с высокой точностью вычислить скорость потока. Этот принцип работы позволяет учитывать влияние среды и геометрии трубопровода, обеспечивая надежные результаты даже в условиях, где присутствуют сложные профили течения или переменные характеристики среды. Такое решение широко применяется для измерения расхода жидкостей и газов в промышленных системах [3, 4].

Формула, описывающая этот процесс, выглядит следующим образом:

$$v = \frac{L}{2} \cdot \left(\frac{1}{t_{up}} - \frac{1}{t_{down}} \right),$$

где: v – скорость потока, L – расстояние между датчиками, t_{up} – время прохождения сигнала против потока, t_{down} – время прохождения сигнала по направлению потока.

Современные ультразвуковые расходомеры оборудованы высокочувствительными датчиками и микросхемами аналого-цифрового преобразования (АЦП), которые обеспечивают оперативную и точную обработку поступающих сигналов. АЦП преобразуют аналоговые ультразвуковые волны в цифровой формат, что позволяет применять сложные алгоритмы для анализа и интерпретации данных. Эта технология делает возможным не только детальное измерение скорости и объема потока, но и компенсацию различных факторов, таких как шум или изменения температуры среды. Интеграция современных АЦП с алгоритмами цифровой обработки данных улучшает точность измерений и открывает новые возможности для автоматизации процессов в промышленности.

Преимущества метода ToF: высокая точность – минимальная погрешность измерений, бесконтактность – отсутствие подвижных частей снижает износ оборудования, универсальность – возможность работы с различными типами сред, от жидкостей до газов.

Метод ToF, подкрепленный современными цифровыми технологиями, обеспечивает надежную работу расходомеров в широком диапазоне условий, что делает их незаменимыми в промышленности.

Современные технологии в ультразвуковых расходомерах

Эволюция ультразвуковых расходомеров тесно связана с внедрением современных цифровых технологий, которые значительно повышают их точность, надежность и функциональность. Одним из ключевых элементов таких приборов являются высокоэффективные микросхемы, отвечающие за точную обработку ультразвуковых сигналов. Ярким примером является микроконтроллер MSP430FR6047 от компании Texas Instruments, который специально разработан для применения в расходомерах. Этот микроконтроллер обеспечивает высокую точность измерений благодаря встроенным АЦП и специализированным алгоритмам обработки данных. Кроме того, он отличается низким энергопотреблением и возможностью работы в сложных промышленных условиях, что делает его оптимальным выбором для современной промышленной автоматизации [5].

MSP430FR6047 разработан специально для ультразвуковых расходомеров и обладает следующими ключевыми характеристиками:

- Интегрированный ультразвуковой модуль: позволяет измерять время пролета (ToF) с точностью до наносекунд.
- Высокоскоростной АЦП: обеспечивает оцифровку сигналов с минимальными искажениями.
- Энергоэффективность: технология FRAM снижает энергопотребление, что особенно важно для автономных расходомеров.
- Гибкость настройки: поддержка различных конфигураций и возможность адаптации под конкретные задачи.

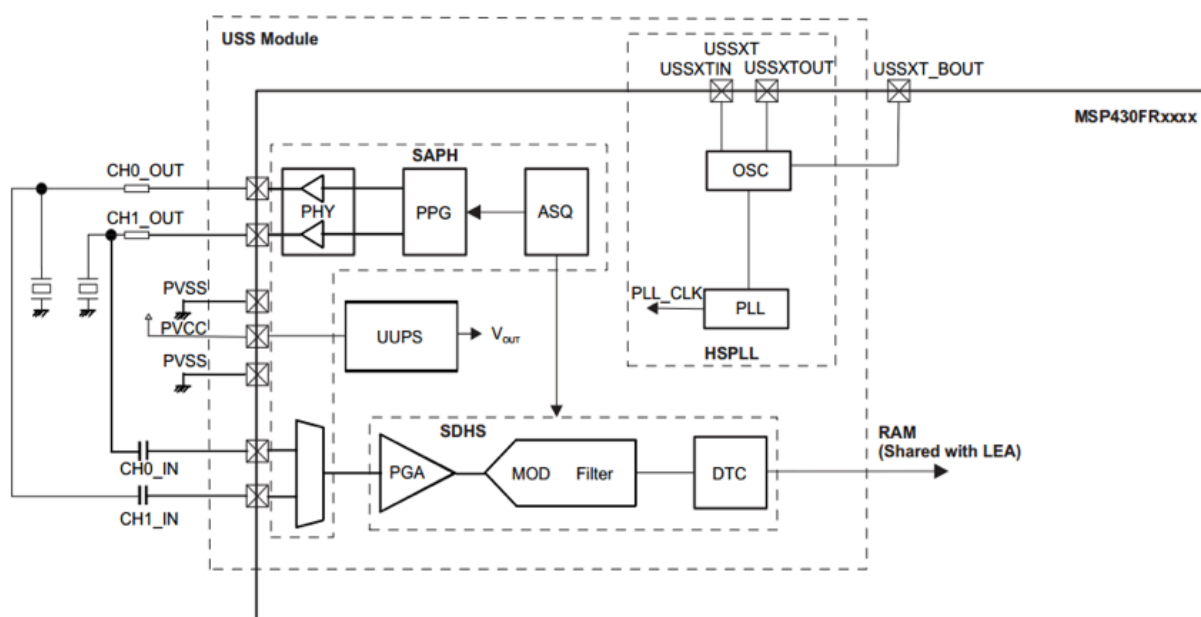


Рис. 1. Функциональная блок-схема ультразвукового модуля USS

Преимущества использования MSP430FR6047

1. Повышенная точность измерений. Благодаря встроенным алгоритмам коррекции и высокоточной оцифровке, микроконтроллер позволяет минимизировать погрешности, даже в условиях высоких скоростей потока и значительных перепадов температур.

2. Энергоэффективность. MSP430FR6047 отличается низким энергопотреблением, что делает его идеальным для использования в устройствах с длительным сроком службы, работающих от батарей.

3. Поддержка IoT и удаленного мониторинга. Устройства на базе MSP430FR6047 легко интегрируются в системы Интернета вещей (IoT), обеспечивая удаленный доступ к данным и возможность мониторинга в реальном времени.

Технология ультразвуковых расходомеров играет ключевую роль в нефтегазовой отрасли, особенно при использовании микросхемы MSP430FR6047. Она позволяет эффективно интегрировать эти приборы в сложные технологические процессы, обеспечивая точный учет и контроль потоков в условиях высоких температур, высокого давления и агрессивных химических сред. Благодаря низкому энергопотреблению и встроенным алгоритмам обработки данных, расходомеры на основе этой технологии демонстрируют высокую надежность и стабильность работы. Дополнительно, возможность интеграции с IoT-системами позволяет в реальном времени отслеживать изменения параметров потока, что значительно повышает эффективность управления ресурсами и оперативность принятия решений.



Рис. 2. Блок-схема измерителя на базе АЦП

Применение ультразвуковых расходомеров в нефтегазовой отрасли

Нефтегазовая отрасль предъявляет высокие требования к измерительным приборам, особенно к расходомерам, которые играют ключевую роль в учете и контроле потоков жидких и газообразных углеводородов. Ультразвуковые расходомеры благодаря своей точности, надежности и способности работать в экстремальных условиях нашли широкое применение в этом секторе.

Особенности эксплуатации в нефтегазовой отрасли

1. Работа в сложных условиях. Нефтегазовая отрасль часто требует работы в средах с высокими температурами, давлениями и агрессивными химическими составами. Ультразвуковые расходомеры справляются с такими условиями благодаря отсутствию подвижных частей и контактных элементов, что минимизирует износ и вероятность поломок.

2. Высокая точность учета. Технология ToF, используемая в современных расходомерах, позволяет с высокой точностью измерять объемы перекачиваемой нефти, газа и их производных. Это особенно важно для коммерческого учета и оптимизации производственных процессов.

3. Контроль многокомпонентных потоков. В нефтегазовой отрасли нередко возникают ситуации, когда необходимо измерять расход многокомпонентных потоков, например смеси нефти, воды и газа. Ультразвуковые расходомеры могут эффективно справляться с такими задачами, обеспечивая точные данные даже при изменении состава потока.

Примеры применения

- **Транспортировка углеводородов.** Ультразвуковые расходомеры широко применяются на магистральных трубопроводах для контроля объемов транспортируемой нефти и газа. Они обеспечивают высокий уровень точности, что важно для предотвращения потерь и учета передаваемых ресурсов между компаниями.
- **Обработка и переработка сырья.** На перерабатывающих предприятиях расходомеры используются для контроля потоков на различных стадиях технологического процесса, включая дистилляцию и очистку.
- **Мониторинг газовых потоков.** В газовых сетях ультразвуковые расходомеры обеспечивают точный учет транспортируемого природного газа, а также контроль утечек.

Экономическая эффективность

Использование ультразвуковых расходомеров способствует не только повышению точности измерений, но и значительному сокращению эксплуатационных расходов. Эти приборы отличаются долговечностью, устойчивостью к износу и минимальными затратами на обслуживание. Благодаря этому компании получают ряд преимуществ, таких как уменьшение риска аварийных ситуаций и избежание штрафов за несоответствие учетных данных. Кроме того, высокая надежность расходомеров обеспечивает стабильность технологических процессов и улучшает общий уровень производственной эффективности.

Будущее технологии в нефтегазовой сфере

С развитием цифровизации и IoT, ультразвуковые расходомеры

становятся важной частью управления технологическими процессами, позволяя в реальном времени анализировать данные и повышать производительность.

Таким образом, современные ультразвуковые расходомеры, работающие по технологии времени пролета (ToF) и оснащенные микроконтроллерами нового поколения, такими как MSP430FR6047, демонстрируют выдающуюся точность, надежность и энергоэффективность. Эти устройства особенно востребованы в нефтегазовой отрасли благодаря способности обеспечивать точный учет потоков, стабильную работу в сложных условиях и минимальные эксплуатационные расходы. Интеграция с цифровыми системами управления открывает широкие перспективы для автоматизации, повышения производительности и оптимизации технологических процессов, способствуя безопасному и эффективному управлению ресурсами.

Библиографический список

1. Уразаев А.Е., Ясовеев В.Х. Ультразвуковой способ измерения расхода многофазной смеси с детектированием режима течения // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика Уфа, 2012. №1. С. 46-51.

2. Ясовеев В.Х., Уразаев А.Е. Метод и особенности технической реализации информационно-измерительной системы определения расхода, фазового состава и структуры течения многофазной смеси // Вестник УГАТУ, Уфа, 2012 с. 172-180 с. УДК: 681.121.89.

3. Богуш М.В. Пьезоэлектрическое приборостроение. Том 3.

4. Пьезо электрические датчики для экстремальных условий эксплуатации, с. 257-266.

5. Паршин, В.В. Приборы и методы комплексных поточных измерений вязкости, плотности и скорости движения: дис. канд. техн. наук: 01.04.01 / Паршин Владислав Михайлович. - Самара. - 2010. - 182 с.

6. MSP430 Datasheet.

<https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=534315>

© Газизов А.Р., 2024

УДК 621.396.96 : 629.735

Д.А. ГАЙСИН

gaisindawid@yandex.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

УВЕЛИЧЕНИЕ ДАЛЬНОСТИ СВЯЗИ С ПОМОЩЬЮ ДРОНОВ-РЕТРАНСЛЯТОРОВ

Аннотация: в статье рассматриваются основные функции дронов-ретрансляторов, их применение в различных отраслях, таких как сельское хозяйство, чрезвычайные ситуации, военное дело и телекоммуникации.

Ключевые слова: дрон; беспилотный летательный аппарат; ретранслятор; телеметрия; дальность связи

Введение

Дроны-ретрансляторы – это беспилотные летательные аппараты (БПЛА), предназначенные для увеличения дальности связи в различных сферах деятельности. Они могут быть реализованы на аппаратах практически любого типа (самолетного, вертолетного, мультироторного, аэростатического). Такой БПЛА является своего рода посредником между источником передаваемой информации и ее получателем. В общем случае ретранслятор в системе связи может быть расположен и не на летательном аппарате, а на другом мобильном или неподвижном объекте, например, на крыше высотного здания. Но установка ретранслятора на БПЛА дает очевидное преимущество в высоте его подъема и возможности оперативной смены местоположения, что позволяет обеспечивать прямую радиовидимость как между источником и ретранслятором, так и между ретранслятором и получателем сигнала [1].

Ретранслятор представляет собой совокупность приемника и передатчика, работающих на разнесенных частотах и имеющих, как правило, разные антенные системы (рис. 1).

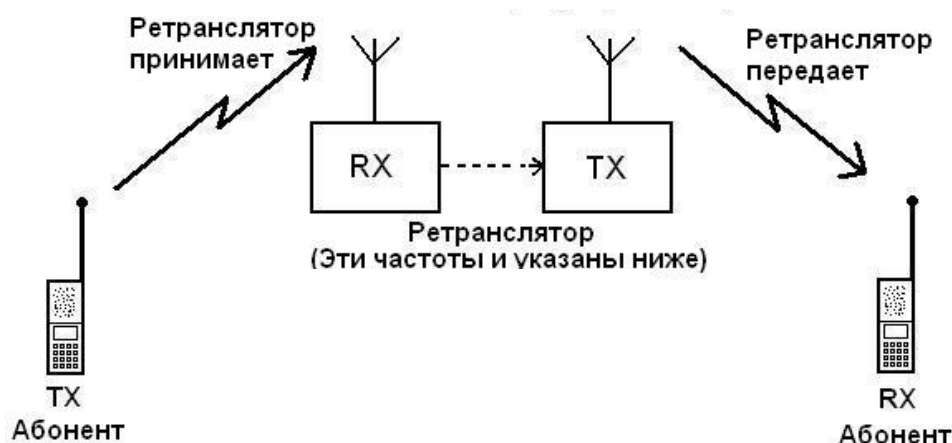


Рис. 1. Упрощенная схема ретрансляции радиосигналов

Ретрансляторы могут увеличить дальность связи между наземными или воздушными объектами многократно. Передача данных может идти в реальном времени, то есть эти дроны могут передавать командную информацию, видеопотоки, телеметрические данные и другую информацию в реальном времени, что делает их ценными для задач наблюдения и разведки. Системы ретрансляции на базе БПЛА отличаются быстротой и гибкостью развертывания. Их можно развертывать в различных условиях, включая городские условия, отдаленные районы и зоны стихийных бедствий.

Применение

Дроны-ретрансляторы, используемые как усилители сигнала, имеют много вариантов применения в различных сферах. Их основная задача заключается в увеличении радиуса покрытия и обеспечении более надежной связи в условиях, где традиционные системы связи могут оказаться недостаточно эффективными. Рассмотрим несколько практических примеров.

Поддержка мобильной связи во время массовых мероприятий. Летающие ретрансляторы могут локально поддерживать мобильную связь во время концертов, спортивных мероприятий и фестивалей. С увеличением числа людей на одном месте существенно возрастает нагрузка на мобильные сети, что может привести к перегрузке и отсутствию связи. Дроны способны временно обеспечить дополнительные точки доступа, что позволяет участникам мероприятий обмениваться сообщениями, делать звонки и загружать контент в реальном времени.

Обеспечение связи в отдаленных и труднодоступных местах. В регионах с ограниченной или отсутствующей инфраструктурой связи дроны могут выполнять функции мобильных ретрансляторов, обеспечивая связь между удаленными населенными пунктами и службами экстренной помощи. Например, в горных или лесных районах, где прокладка кабелей и установка базовых станций могут быть сложными или экономически нецелесообразными, дроны способны временно обеспечить необходимый уровень связи. Это может быть особенно полезно для служб спасения, работающих в экстремальных условиях.

Поддержка связи в условиях чрезвычайных ситуаций. Во время стихийных бедствий, таких как ураганы, землетрясения или наводнения, наличие связи может быть критически необходимо для координации спасательных операций. Дроны-ретрансляторы могут быстро разворачиваться в пострадавших районах, создавая сети связи, которые обеспечивают связь между спасателями и жителями. Они способны передавать данные, такие как местоположение пострадавших и информацию о состоянии инфраструктуры [2, 3].

Военное применение ретрансляторов. Особенно ошутимое значение дроны-ретрансляторы имеют в обеспечении связи и коммуникации на поле боя. Военные операции часто проходят в местах, где штатные средства связи могут быть заглушены средствами РЭБ или повреждены. Использование дронов в качестве мобильных ретрансляторов позволяет обеспечить бесперебойную связь между командным центром и подразделениями. Эта связь может включать передачу видеоизображений с беспилотных разведывательных аппаратов, обмен информацией о состоянии подразделений на поле боя и координацию действий.

Исследование и мониторинг окружающей среды. Дроны-ретрансляторы могут использоваться для мониторинга окружающей среды, когда необходимо передавать данные с удаленных сенсоров. Например, на природоохранных

территориях дроны-ретрансляторы могут усиливать сигналы сенсоров, которые мониторят загрязнение атмосферы или изменение температуры. Это позволяет собирать данные в реальном времени и передавать их за пределы этих территорий.

Подключение объектов Интернета вещей (IoT). Дроны-ретрансляторы могут обеспечить связь для объектов IoT, расположенных в удаленных или труднодоступных местах. Это может быть особенно полезно в промышленности, где необходима ретрансляция сигналов датчиков, отслеживающих состояние оборудования, или в сельском хозяйстве, где дроны могут связываться с автоматизированными системами управления полями и системами слежения за животными [4].

Заключение

Дроны-ретрансляторы являются удобным инструментом, который может быть использован для улучшения связи в различных сферах. Их способность обеспечивать связь в труднодоступных местах и во время чрезвычайных ситуаций во многих случаях делает их незаменимыми. Для эффективного и безопасного использования этих технологий необходимо решить ряд технических вопросов.

Библиографический список

1. Kocak, S., & Irmak, U. (2020). Development of Drone Relay Systems for Efficient Communication. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications(IJACSA)*,11(4), 446-456.
2. Zhao, Y., Wu, Q., & Zhao, J. (2019). A Survey of Drones in Disaster Response: Communications and Operations. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(3), 3177-3194.
3. Chen, L., Zhang, Y., & Shi, Y. (2020). The Role of Drones in Emergency Medical Services: A Review. *Medical Engineering & Physics*, 79, 15-24.
4. Askari, H., & Ranjbar, M. (2022). Drones: A New Paradigm in Agriculture. *Agricultural Systems*, 190, 103099.

© Гайсин Д.А., 2024

УДК 621.396.96

А.А. ГАЛИЕВ

artur000galiev@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.Л. ТИМОФЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

СВЕРХКОРОТКОИМПУЛЬСНАЯ РАДИОЛОКАЦИЯ И ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСА

Аннотация: в статье рассмотрены два современных метода улучшения характеристик радиолокационных систем: сверхкороткоимпульсная радиолокация (СКИРЛ) и голографическое формирование импульса (ГФИ). Описаны их основные принципы, преимущества и области применения. СКИРЛ увеличивает временное разрешение за счет коротких импульсов, ГФИ – использует методы голографии для управления характеристиками сигналов. Приведены результаты моделирования данных методов в MatLAB.

Ключевые слова: сверхкороткоимпульсная радиолокация; формирование импульса; голографическое формирование импульса; временное разрешение; разрешение по дальности; чувствительность системы.

Введение

В связи с тем, что технологии движутся вперед, требования к современным радиолокационным системам увеличиваются, и основной работой является повышение точности и качества измерений. Одним из главных направлений являются методы радиолокации, они применяют широкий частотный диапазон и сложные сигналы. Данные методы называются сверхкороткоимпульсная радиолокация (СКИРЛ) и голографическое формирование импульса (ГФИ) [2].

Цель данной работы — сравнить методы, указанные выше, определить достоинства и недостатки, а также продемонстрировать примеры их моделирования.

Сверхкороткоимпульсная радиолокация: механизм реализации и особенности

СКИРЛ использует импульсы ультракороткой длительности, что делает его мощным инструментом для работы в сложных условиях, например, при обнаружении движущихся объектов или работы в условиях помех. Основные этапы работы такой системы включают:

1. Генерация импульсов.

Сверхкороткие импульсы длительностью до наносекунд получают с помощью специализированных генераторов, которые обеспечивают нужную ширину спектра [1].

2. Передача сигнала.

Импульсы излучаются антеннами, поддерживающими широкий спектральный диапазон (сверхширокополосные антенны).

3. Прием и обработка.

Принятые отраженные сигналы подвергаются обработке с целью восстановления их временных и частотных характеристик [4].

На рис.1 представлена структурная схема формирования СКИРЛ импульсов.

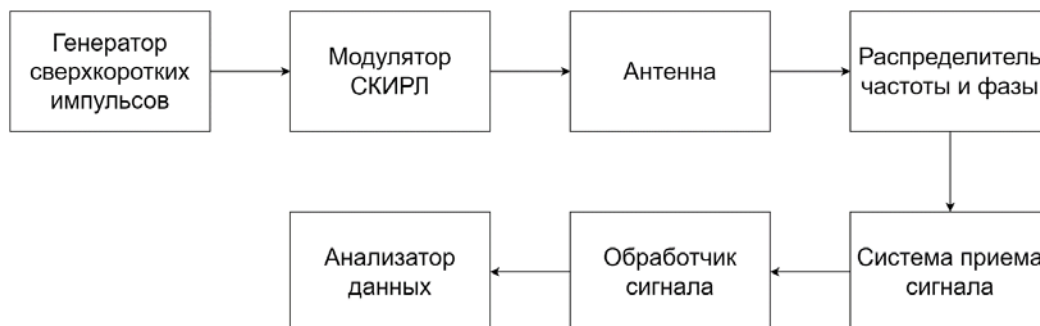


Рис. 1. Структурная схема формирования СКИРЛ импульсов

Состав структурной схемы, приведенной на рис.1:

1. Генератор сверхкоротких импульсов: источник генерирует короткие радиочастотные импульсы (СКИРЛ).

2. Модулятор (СКИРЛ): моделирует радиоволны, корректирует фазовую и амплитудную структуру.

3. Антенна: передает излучаемый сигнал в пространство, направляет его в сторону цели.

4. Распределитель частоты и фазы: обеспечивает нужное распределение частот и фаз для более точной фокусировки сигнала.

5. Система приема сигнала: принимает отраженные сигналы и передает их на обработку.

6. Обработчик сигнала: использует методы временной и частотной обработки для извлечения полезной информации из отраженного сигнала.

7. Анализатор данных: выводит результаты анализа, создавая карту или другие визуальные данные о местоположении и характеристиках цели.

Голографическое формирование импульса: принцип работы

Голографическое формирование импульса использует управления характеристиками сигнала с помощью фазовых и амплитудных манипуляций. Данный метод применяется в ситуациях, где необходимо управляемое разрешение и точное моделирование сигнала. Основные этапы технологии:

1. Создание голограммы.

Путем интерференции между опорным и объектным сигналами создаются фазово-амплитудные структуры [2].

2. Формирование импульса.

Полученная голографическая картина освещается когерентным источником света, например, лазером для формирования требуемого импульса [3].

3. Передача и прием.

Сформированный сигнал передается через антенну и принимается для дальнейшей обработки, с возможностью регулирования его параметров.

На рис. 2 представлена структурная схема формирования голографических импульсов.

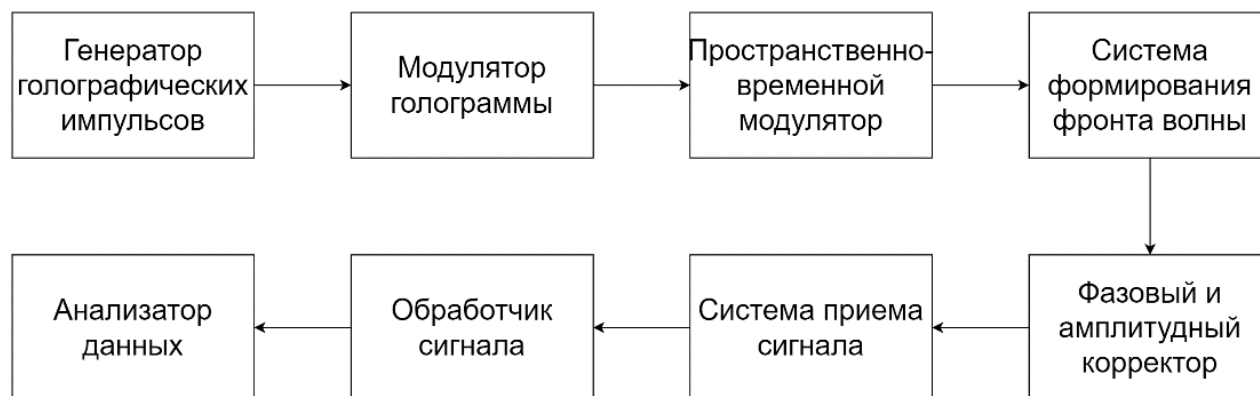


Рис. 2. Структурная схема формирования голографических импульсов

Состав структурной схемы, приведенной на рис. 2:

1. Генератор голографических импульсов: источник генерирует ГФИ
2. Модулятор (ГФИ): моделирует радиоволны, который использует голографические принципы, корректирует фазовую и амплитудную структуру.
3. Пространственно-временной модулятор: изменяет параметры волны (например, амплитуду или фазу) во времени и пространстве для управления распространением сигнала или изображения.
4. Система формирования фронта волны: контролирует распределение фазы волны для получения требуемой формы фронта, что важно для фокусировки или направления луча.
5. Система приема сигнала: принимает отраженные сигналы и передает их на обработку.
6. Фазовый корректор: корректирует фазу волны для достижения нужного эффекта (например, фокусировки или компенсации искажений). Амплитудный корректор — регулирует амплитуду волны для достижения нужной интенсивности сигнала или изображения.
7. Обработчик сигнала: использует методы временной и частотной обработки для извлечения полезной информации из отраженного сигнала.
8. Анализатор данных: выводит результаты анализа, создавая карту или другие визуальные данные о местоположении и характеристиках цели.

Примеры моделирования сверхкоротких и голографических импульсов:

1. Результаты моделирование сигнала СКИРЛ

Сверхкороткие импульсы представляются с помощью гауссовой функции. Генерация этого сигнала и его спектральный анализ описываются кодом:

```
fs = 40e9; % Частота дискретизации, Гц
t = -2e-9:1/fs:2e-9; % Временная шкала
pulse = exp(-t.^2/(2*(200e-12)^2)); % Сверхкороткий импульс
spectrum = fftshift(abs(fft(pulse))); % Спектр импульса
figure;
subplot(2,1,1);
plot(t*1e9, pulse);
title('СКИРЛ: Сверхкороткий импульс');
xlabel('Время, нс'); ylabel('Амплитуда');
subplot(2,1,2);
freq = linspace(-fs/2, fs/2, length(t));
plot(freq/1e9, spectrum);
title('СКИРЛ: Спектральная характеристика');
xlabel('Частота, ГГц'); ylabel('Амплитуда');
```

Результаты моделирования СКИРЛ представлены на рисунке 3:

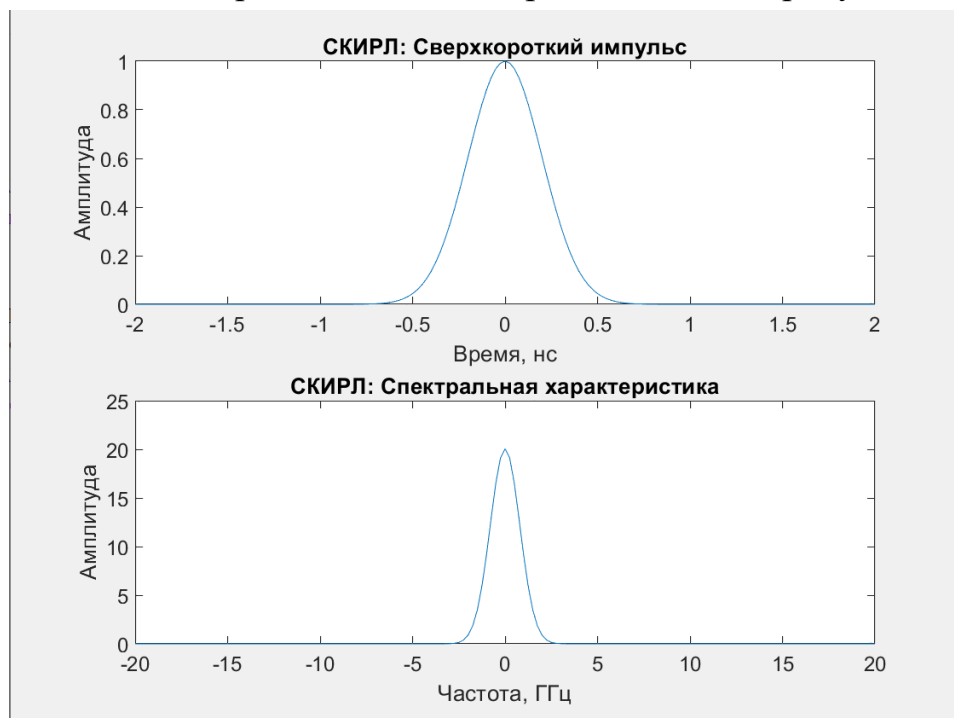


Рис. 3. Результаты моделирования:
а - сверхкороткий импульс
б - спектральная характеристика

Выводы:

- временная характеристика: импульс представляет узкий временной локус, что иллюстрирует отличную временную локализацию.

- спектральный анализ: спектр получился широкополосным, это показывает высокую разрешающую способность сигнала при одновременной устойчивости к помехам.

Исходя из результатов моделирования, метод СКИРЛ отлично подходит для задач, где требуется высокая точность временных измерений. Узкая форма импульса вместе с широкой полосой спектра показывает, что СКИРЛ является эффективным для детектирования быстро движущихся объектов и работы в условиях присутствия шумов. Данный метод может быть применен при анализе мелких деталей объектов.

2. Результаты моделирование сигнала ГФИ

Для генерирования голографических импульсов является важным фазовый сдвиг. Описывается следующим кодом:

```
f0 = 1e9; % Центральная частота
phi = pi/3; % Фазовый сдвиг
duration = 10e-9; % Длительность импульса
fs = 40e9; % Частота дискретизации
t = -duration/2:1/fs:duration/2; % Временная шкала
holographic_pulse = cos(2*pi*f0*t + phi) .* exp(-t.^2/(2*(duration/4)^2));
figure;
plot(t*1e9, holographic_pulse);
title('ГФИ: Голографический импульс');
xlabel('Время, нс'); ylabel('Амплитуда');
```

Результаты моделирования ГФИ представлены на рис.4:

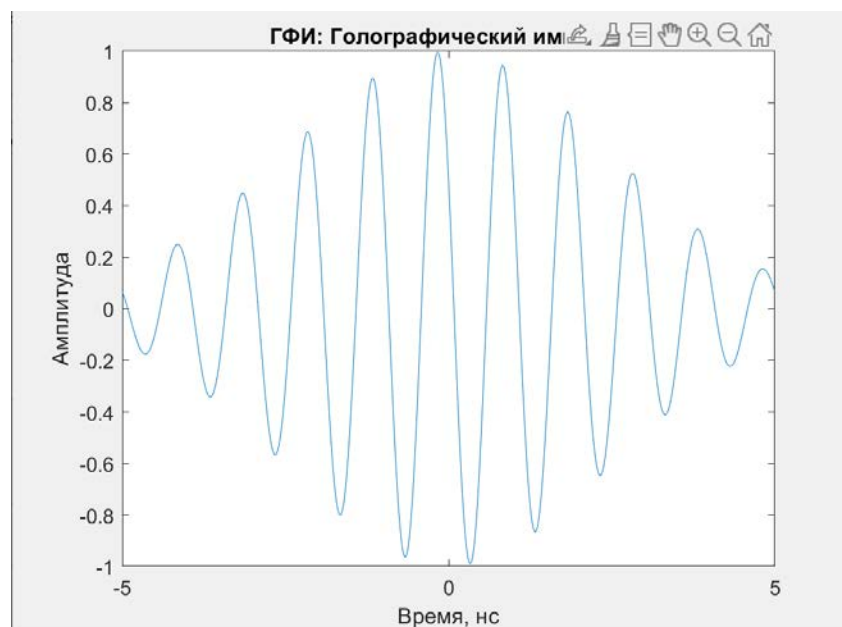


Рис. 4. Голографический импульс (ГФИ)

Выводы:

- временная характеристика: сигнал имеет четкую фазовую структуру, это позволяет детально регулировать его форму.

- гибкость в управлении: в соответствии с настройками параметров (например, фазового сдвига) можно получить значительную вариативности формы импульса.

Исходя из результатов моделирования ГФИ дает возможность настраивать сигналы под сложные задачи. Данный метод важен для высокоточных измерений в статической среде, где существует необходимость в управлениях характеристиками сигнала.

Заключение

Сверхкороткоимпульсная радиолокация (СКИРЛ) и голографическое формирование импульса (ГФИ) являются современными и эффективными методами улучшения характеристик радиолокации, каждый из которых имеет свои преимущества. СКИРЛ лучше показывает себя при работе с движущимися или быстро меняющимися объектами, обеспечивает высокую скорость отклика и точность временных измерений. ГФИ предоставляет больше гибкости, особенно в точных вычислениях или работе с статическими объектами в сложных условиях. Выбор между этими методами зависит от технических задач и конкретной сферы применения.

Библиографический список

1 Радиофизическое обеспечение систем сверхкороткоимпульсной радиолокации URL: <https://www.mivlgu.ru/conf/armand2017/lecture-2017/pdf/L1.pdf>. (дата обращения 10.11.2024)

2. Обработка сверширокополосных сигналов в радиолокаторах URL: <https://mai.ru/upload/iblock/803/pecvw4ejewn8y3djtqjil824vhwwzljb/Dissertatsiya-Kozlova-R.YU.pdf>. (дата обращения 10.11.2024)

3. Основы голографии и голограммной оптики URL: [efaidnbmnnnibpccajpcglcfindmkaj/https://books.ifmo.ru/file/pdf/2133.pdf](https://books.ifmo.ru/file/pdf/2133.pdf) (дата обращения 10.11.2024)

4. Многофункциональный аэродромный радиолокатор по технологии СКИРЛ URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mnogofunktsionalnyy-aerodromnyy-radiolokator-po-tehnologii-sverhkorotkoimpulsnoy-radiolokatsii> (дата обращения 10.11.2024)

© Галиев А.А., 2024

УДК 528.851

Д.А. ДАВЛЕТБАЕВА
davletbaevadianka@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **В.В. НЕРЕТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВАРИАНТНЫХ МОМЕНТОВ В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ТИПОВ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: предлагается подход, основанный на использовании инвариантных моментов при автоматическом распознавании типов летательных аппаратов на изображениях, полученных с применением систем технического зрения. Эффективность подхода подтверждается приведенными в статье результатами моделирования.

Ключевые слова: распознавание образов; инвариантные моменты; цифровая обработка изображений.

Задачи распознавания целевых объектов с применением систем технического зрения возникают при необходимости осуществлять слежение за целями, построении альтернативных источников навигации, идентификации динамических объектов в охранных системах и решении других важнейших вопросов. В частности, системы автоматического распознавания летательных аппаратов могут использоваться для решения задач контроля воздушного пространства международными миссиями в горячих точках, документирования ситуаций в небе военными корреспондентами и очевидцами, оснащенными видеоаппаратурой, документирования ситуаций в небе в приграничных районах, контроля воздушного пространства системами оборонного назначения.

В задачах распознавания графических образов желательно иметь такие характеристики изображения, которые не зависели бы от масштаба, ориентации и качества анализируемого снимка. Такие характеристики называют инвариантами. Широкое распространение получили яркостные и геометрические инварианты изображений [1, 2]. Инварианты полезны тем, что способны при определённых условиях выступать в роли существенных признаков, передающих характерные особенности изображения. Они позволяют проводить корректное сравнение изображений, подвергнутых преобразованиям, что увеличивает вероятность получения правильного решения. Это могут быть, например, аффинные преобразования, растяжения, изменения яркости и контрастности.

Рассмотрим семь инвариантных к группе аффинных преобразований моментов, предложенных математиком Ну [3]. Приведем ряд понятий, необходимых для расчета инвариантных моментов.

Двумерным моментом порядка $(p + q)$ цифрового изображения $f(x, y)$ называется величина, определяемая по формуле [4]

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

при $p, q = 0, 1, 2, \dots$, где суммирование производится по всем значениям пространственных координат x и y данного изображения.

Соответствующий *центральный момент* задается выражением

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \text{ где } \bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}}. \quad (2)$$

Нормированный центральный момент порядка $(p + q)$ можно определить следующим образом

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma} \quad (3)$$

при $p, q = 0, 1, 2, \dots$, где $\gamma = \frac{p+q}{2} + 1$ при $p + q = 2, 3, \dots$

Нормированные центральные моменты позволяют найти семь *инвариантных моментов*, которые инвариантны относительно переносов, осевой симметрии, поворотов, а также растяжений и сжатий [4]:

$$\begin{aligned} \varphi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \varphi_2 = (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\ \varphi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2, \varphi_4 = (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\ \varphi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2], \\ \varphi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \\ &\quad \eta_{03}), \\ \varphi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2]. \end{aligned} \quad (4)$$

В статье предлагается использовать инвариантные моменты для решения задачи автоматического распознавания типов летательных аппаратов (ЛА), полученных с помощью систем технического зрения.

Общий алгоритм распознавания содержит следующие шаги [5]:

1. Вход: база эталонов (прототипов) с вычисленными инвариантами.
2. Получение очередного кадра с видеокамеры.
3. Фильтрация шумов, повышение контрастности, нахождение двоичного профиля распознаваемого объекта в кадре.
4. Вычисление инвариантов для двоичного изображения объекта в кадре.
5. Вычисление расстояния между объектами A (эталонный объект) и B (объект в кадре):

$$D(A, B) = \sum_{i=1}^7 \left| \frac{m_i(A) - m_i(B)}{m_i(A)} \right|, \quad (5)$$

где $m_i(X)$ – соответствующий инвариант изображения X .

6. Распознавание объекта по заданному критерию (шаг 5).
7. Возврат к шагу 2.

Выполним моделирование процессов распознавания типов летательных аппаратов с применением предложенного подхода. Эталонными объектами (прототипами) в рассматриваемом примере являются цветные изображения профилей четырех российских истребителей Миг-29, Миг-31, Су-27, Су-37, с которыми в дальнейшем будет сравниваться распознаваемый образец. Изображения профилей ЛА найдены в сети Internet. Обработка изображений в работе проводилась в системе MATLAB.

График с исходными эталонными изображениями показан на рис. 1.

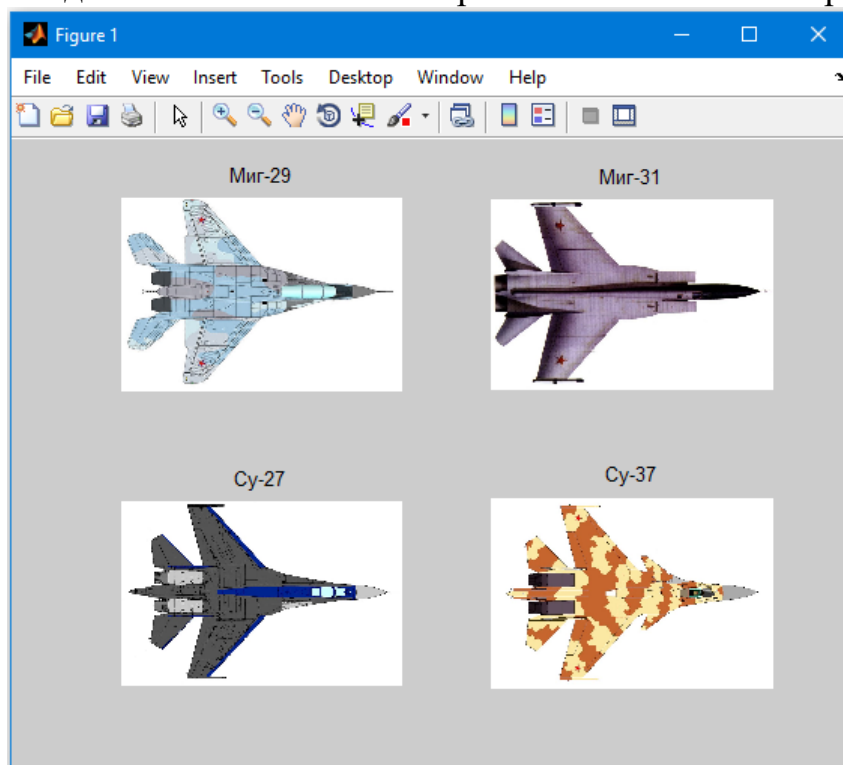


Рис. 1. Исходные эталонные изображения

Переведем цветные эталонные изображения в полутоновые, а затем преобразуем в бинарные. Для получения двоичных изображений в программе выполняется пороговая бинаризация со значением 0,94, затем производятся морфологические операции заполнения отверстий, замыкания и удаления мелких объектов для улучшения качества бинарных изображений образцов. Полученные после преобразования бинарные эталонные изображения приведены на рис. 2.

Далее вычислим семь инвариантных моментов для четырех эталонных бинарных изображений по формулам (4):

Матрица инвариантных моментов для 4 эталонных изображений

2.3087e-01	3.9416e-03	6.1486e-03	7.5984e-04	1.6424e-06	4.7704e-05
3.3609e-09					
2.4744e-01	9.5469e-03	8.6865e-03	1.6956e-03	6.5071e-06	1.6567e-04
8.6961e-08					
2.4090e-01	6.2886e-03	8.3415e-03	1.8622e-03	7.3392e-06	1.4767e-04
3.0933e-08					
2.3109e-01	5.4864e-03	6.5811e-03	1.1071e-03	2.9880e-06	8.1983e-05
5.0203e-08					

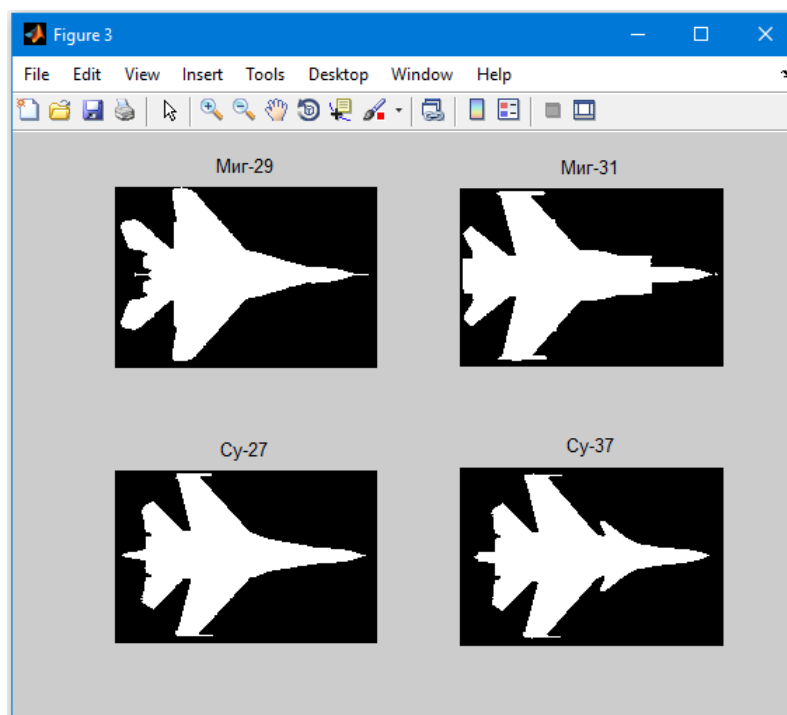


Рис. 2. Бинарные эталонные изображения

После получения базы эталонов с вычисленными инвариантами переходим непосредственно к загрузке и обработке изображения распознаваемого ЛА (рис.3). Обработка изображения предполагает те же операции перевода изображения из цветного в двоичное, что и для эталонных образов. Отличие заключается в одном из блоков программы, где на цветном изображении выделяются фрагменты областей, которые не должны попасть в итоговое бинарное изображение профиля ЛА. К таким фрагментам можно отнести изображения неба и облаков.

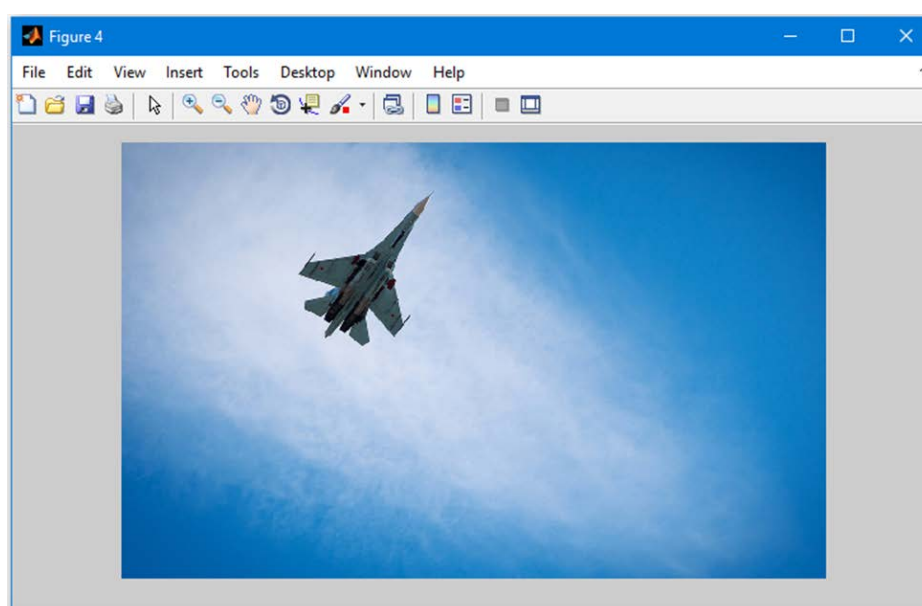


Рис. 3. Распознаваемое изображение ЛА

После перевода в двоичный формат, распознаваемое изображение имеет вид (рис. 4).

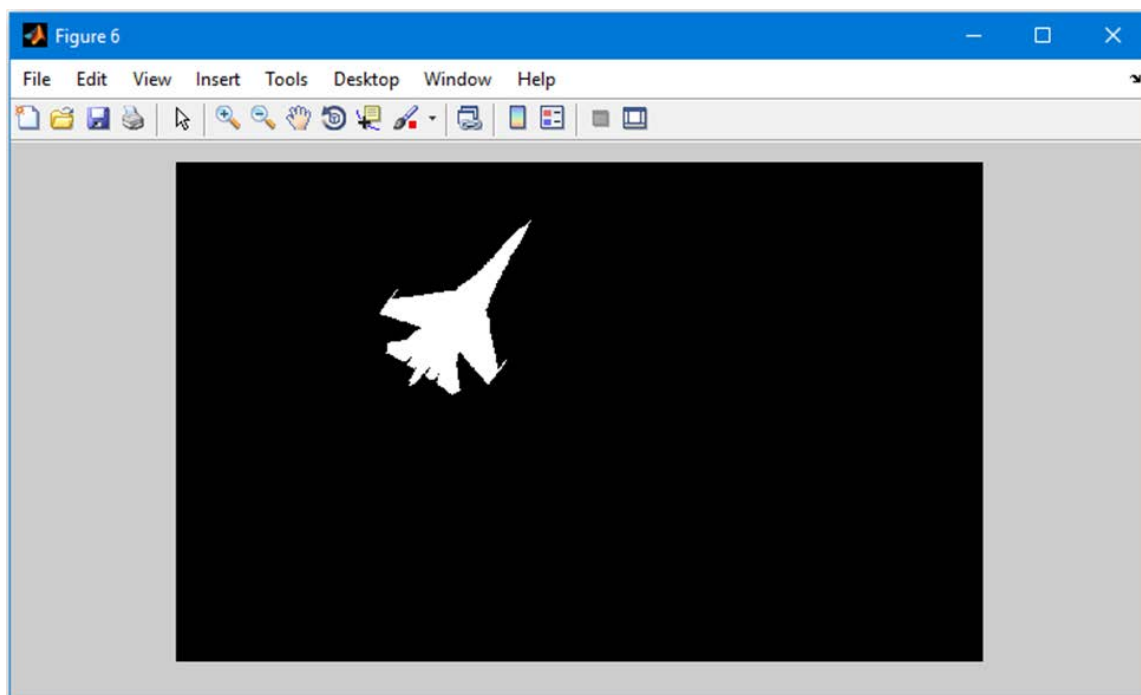


Рис. 4. Распознаваемое изображение ЛА после бинаризации

В конце программы вычислим инвариантные моменты для распознаваемого ЛА, и рассчитаем расстояния между инвариантными моментами эталонных ЛА и распознаваемым изображением по формуле (5). В выражении (5) используются только первые четыре момента, так как остальные три сильно подвержены влиянию помех и могут исказить результат. Результат распознавания отображается на графике.

Для распознаваемого изображения инвариантные моменты равны:

Матрица инвариантных моментов для распознаваемого изображения

2.4026e-01 7.7050e-03 8.2543e-03 2.1053e-03 8.7578e-06 1.8333e-04
5.7457e-07

Сравнение инвариантных моментов эталонных ЛА и распознаваемого изображения позволяет получить результат, приведенный на рис. 5.

Предложенный в работе метод распознавания изображения с использованием инвариантных моментов и созданная на его основе программная реализация позволяют правильно определить тип летательного аппарата, несмотря на различия в размерах изображений, масштабе, ориентации и положении распознаваемого ЛА относительно эталонного. Это доказывает эффективность применения инвариантных моментов в задачах распознавания объектов различной природы, в частности типов летательных аппаратов.

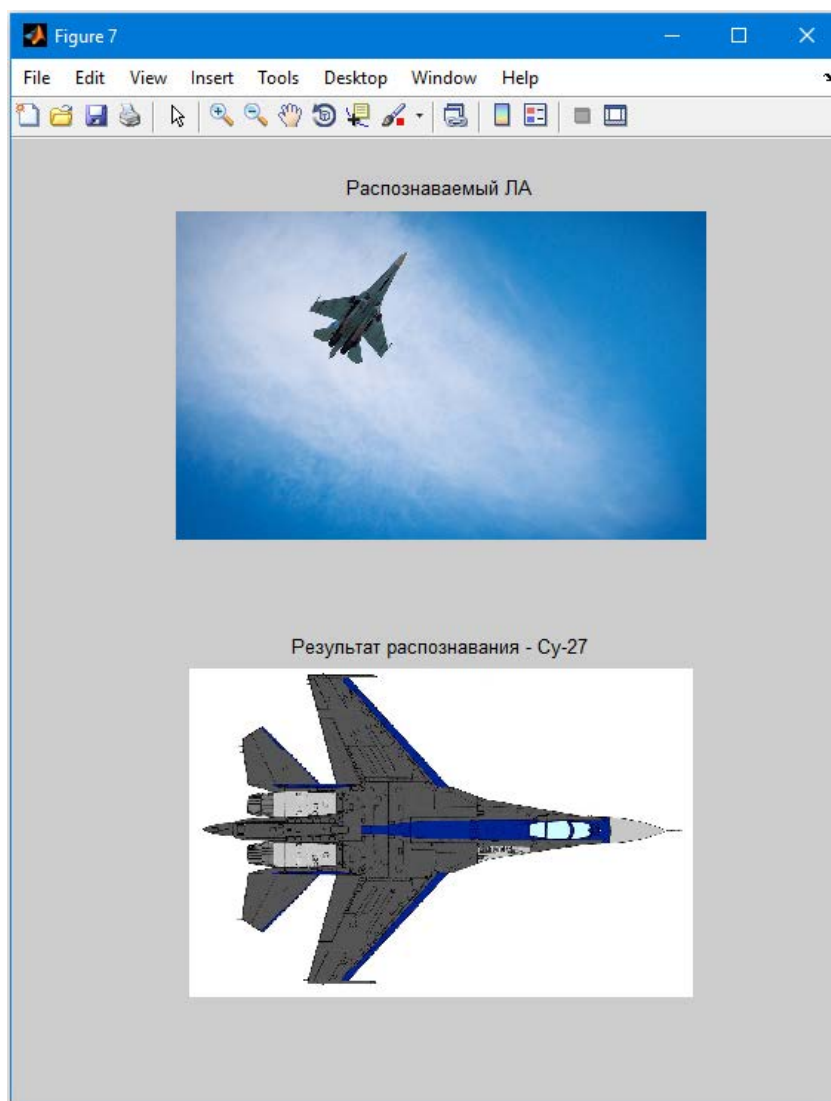


Рис. 5. Результат распознавания типа ЛА

Библиографический список

1. Нгуен Зуй Тхань Инварианты в задачах распознавания графических образов // Discrete and Continuous Models and Applied Computational Science. 2016, №1.
2. Сойфер В.А. Методы компьютерной обработки изображений // Физматлит. – 2003.
3. Hu M.K. Visual pattern recognition by moment invariants. IRE Transactions on In-formation Theory. 1962. Vol. 8. P. 179–187. DOI: 10.1109/TIT.1962.1057692.
4. Гонсалес Р.С., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 615 с.
5. Абрамов Н.С., Хачумов В.М. Распознавание на основе инвариантных моментов // Вестник РУДН. Серия Математика. Информатика. Физика. № 2, 2014. С. 142–149.

© Давлетбаева Д.А., 2024

УДК 629.7.018

К.А. ДЁГТЕВ

kdyogtev@bk.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫБРОСА ПАРАШЮТА НА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТАХ

Аннотация: в статье проведен сравнительный анализ трех методов выброса парашюта с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА): с использованием пиропатронов, пружин и простого открытия. Рассмотрены принципы работы каждого метода, их ключевые компоненты, а также достоинства и недостатки. *Ключевые слова:* беспилотные летательные аппараты (БПЛА), парашют, выброс парашюта, пиропатрон, механическая пружина, пассивное раскрытие.

В последние годы беспилотные летательные аппараты (БПЛА) находят широкое применение в различных сферах, таких как спасательные операции и доставка грузов. Одной из главных задач при использовании БПЛА является обеспечение безопасного спуска груза или самого аппарата в случае возникновения аварийной ситуации. В этой статье рассматриваются три метода выброса парашюта с БПЛА: метод выброса с использованием пиропатрона, метод с использованием пружин и метод пассивного раскрытия. Каждый из этих методов обладает своими особенностями, а также преимуществами и недостатками, которые будут подробно проанализированы.

1. Выброс с использованием пиропатрона

Пиропатрон — это устройство, которое применяет пиротехнический заряд для выброса капсулы с парашютом. Когда достигается определенная высота и скорость, пиропатрон активируется, выбрасывая парашют и обеспечивая его раскрытие. Такие системы могут быть связаны с электронными блоками управления, которые отслеживают параметры полета, включая высоту, скорость и угловые скорости. При достижении критических значений происходит срабатывание пиропатрона, что способствует быстрому и эффективному раскрытию парашюта [2]. Пиропатрон состоит из нескольких компонентов, включая корпус, выполненный из нержавеющей стали, капсулу для парашюта, которая выбрасывается на определенное расстояние от беспилотного летательного аппарата при срабатывании устройства, и электронную систему управления, обеспечивающую автоматическую

активацию пиропатрона на основе данных о высоте и скорости. Среди преимуществ метода можно выделить высокую надежность и скорость срабатывания, что позволяет пиропатрону оперативно реагировать на изменения в условиях полета, что особенно важно в экстренных ситуациях. Также системы могут работать в автоматическом режиме, что снижает вероятность человеческой ошибки. Однако существуют и недостатки, такие как необходимость соблюдения строгих мер безопасности при транспортировке, поскольку пиропатроны могут случайно сработать, а также высокая стоимость, так как такие системы могут быть дороже по сравнению с другими методами выброса.

2. Выброс с использованием пружин

В данном методе применяется механическая пружина, которая при активации выталкивает парашют из контейнера. Он может быть реализован как в ручном, так и в автоматическом варианте. Система включает пружину, обеспечивающую необходимую силу для выброса парашюта, и механизм активации. Перед полетом пружина взводится вручную. Этот метод отличается простой конструкцией и легкостью в обслуживании, так как механические системы менее сложны и менее подвержены сбоям. Кроме того, отсутствие взрывоопасных материалов делает его более безопасным при транспортировке. Однако у него есть и недостатки, такие как медленная реакция на экстренные ситуации: механические системы могут реагировать на изменения в условиях полета медленнее, чем пиропатронные. Также существует зависимость от механических компонентов, что может привести к поломкам или заеданию пружины, что, в свою очередь, может вызвать неисправность системы.

3. Выброс методом пассивного раскрытия

Этот метод подразумевает простое открытие контейнера с парашютом без использования дополнительных механизмов. Это может быть достигнуто путем освобождения замка и открытию контейнера за счёт потока воздуха. Механизм включает в себя замок контейнера, который удерживает парашют в закрытом состоянии до момента активации. У этого метода минимальные затраты на оборудование. Простота в конструкции и использовании позволяет значительно сократить затраты на производство и обслуживание так как не требует сложной настройки или обслуживания. Из недостатков: низкая надежность в экстренных ситуациях. Этот метод наиболее подвержен ошибкам пользователя и внешним воздействиям, что может привести к неправильному раскрытию парашюта.

В разработке и производстве систем выброса парашюта важное значение имеет тестирование этих систем в различных эксплуатационных условиях.

Проведение таких испытаний помогает выявить потенциальные проблемы до начала реальных операций. Также стоит рассмотреть возможность интеграции датчиков для мониторинга состояния системы выброса в реальном времени, что может повысить уровень безопасности. Кроме того, современные достижения в области материаловедения могут привести к созданию более легких и прочных материалов для изготовления контейнеров парашютов и механизмов выброса. Это, в свою очередь, может значительно улучшить характеристики беспилотных летательных аппаратов и расширить их применение в сложных условиях.

Заключение

Каждый из методов выброса парашюта с беспилотных летательных аппаратов обладает своими особыми характеристиками и сферами применения. Выбор оптимального метода зависит от конкретных условий эксплуатации и целей миссии. Пиропатронные системы характеризуются высокой надежностью и автоматизацией, но требуют соблюдения строгих мер безопасности и имеют высокую стоимость. Механические пружинные системы отличаются простотой и безопасностью, но могут уступать в скорости реакции.

Метод пассивного раскрытия является наиболее доступным, но его эффективность значительно ниже по сравнению с другими системами.

Выбор подходящего метода при проектировании систем выброса парашюта БПЛА должен основываться на условиях эксплуатации и целях миссии и обеспечивать максимальную безопасность как для аппарата, так и для окружающих.

Библиографический список

1. Вопросы разработки, применения и технического обслуживания парашютных систем спасения БПЛА // https://bgaa.by/sites/default/files/inline-files/melnikov_a_s_voprosy_razrabotki_primeneniya_i_tekhnicheskogo_obslyuzhivaniya_parashyutnykh_sistem_spaseniya_bppla.pdf

2. Особенности работы парашютной системы БПЛА // <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-raboty-parashyutnoy-sistemy-bespilotnogo-letatel'nogo-apparata>

3. Обзор парашютных систем для БПЛА // <http://quad-copter.ru/untitled-176.html>

© Дёгтев К.А., 2024

УДК 621.89

В.Ю. ИВАНОВ

whatislove0@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Е.Ф. НУРЛЫГАЯНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ФЕРРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ЧАСТИЦЫ ИЗНОСА

Аннотация: статья посвящена использованию феррометров с датчиками Холла для анализа металлических загрязнений в смазочных материалах. Рассмотрены преимущества метода, включая высокую чувствительность и оперативность. Описаны ключевые характеристики устройств и предложено усовершенствованное решение с улучшенным магнитным блоком и проточной камерой. Сделан вывод о перспективах применения.

Ключевые слова: феррометр; датчик Холла; смазочные материалы; металлические частицы; анализ загрязнений; мониторинг состояния оборудования; магнитное поле; промышленная автоматизация.

Введение

Анализ смазочных материалов на наличие металлической стружки — одна из ключевых задач для диагностики состояния оборудования. Попадание металлических частиц в смазку сигнализирует об износе деталей, что может привести к серьёзным поломкам. Своевременное обнаружение стружки позволяет проводить профилактические работы, минимизировать простои и увеличить срок службы оборудования. Актуальность данного направления обусловлена ростом требований к надёжности техники и повышением уровня автоматизации производств.

Краткий обзор возможных методов анализа

Для выявления металлических частиц используется ряд методов, каждый из которых имеет свои особенности:

1. Спектральный анализ

Метод основывается на атомно-эмиссионной спектроскопии и применяется для определения элементного состава смазки.

- **Преимущества:**
 - Исключительная точность анализа.
 - Возможность различать разные типы металлов.
- **Недостатки:**
 - Дороговизна оборудования.
 - Долгое время подготовки образцов.
 - Невозможность работы в реальном времени.

2. *Фильтрация и микроскопия*

Частицы извлекаются из смазочного материала с помощью фильтров, затем их исследуют под микроскопом.

- Преимущества:
 - Детальный анализ формы и размеров частиц.
- Недостатки:
 - Процесс трудоёмкий и занимает много времени.
 - Требуется высокая квалификация специалистов.
 -

3. *Ферромагнитная сепарация*

Этот метод использует магнитные фильтры для извлечения металлических частиц.

- Преимущества:
 - Простота оборудования.
 - Возможность выделять частицы для дальнейшего анализа.
- Недостатки:
 - Неэффективность для немагнитных частиц.
 - Отсутствие количественного анализа.
 -

4. *Феррометры с датчиком Холла*

Методы, основанные на использовании датчика Холла, выделяются своей простотой, мобильностью и возможностью проведения анализа в режиме реального времени. Такие устройства фиксируют изменения магнитного поля, вызванные металлическими частицами.

- Преимущества:
 - Высокая чувствительность.
 - Простота эксплуатации без сложной подготовки образцов.
 - Компактные размеры и доступная стоимость.

На сегодняшний день на рынке представлены различные устройства, использующие феррометры для анализа загрязнений в смазочных материалах. Их конструкция включает:

1. Датчики Холла для фиксации изменений магнитного поля.
2. Постоянные магниты для создания поля, привлекающего частицы.
3. Электронные модули для обработки сигналов и передачи данных.
4. Проточные камеры, обеспечивающие взаимодействие смазочного материала с магнитным полем.
5. Интерфейсы пользователя для отображения результатов анализа.

Большинство существующих решений отличаются высокой надёжностью, но ограничены в чувствительности и функциональности.

При разработке своего технического решения ставилась задача улучшения следующих ключевых характеристик:

- Чувствительность. Возможность регистрации частиц микронного размера.

- **Линейность.** Точное измерение концентрации частиц в широком диапазоне.
- **Время отклика.** Быстрая реакция, позволяющая проводить анализ в реальном времени.
- **Компактность.** Устройства обладают небольшими размерами и подходят для полевого использования.
- **Энергопотребление.** Экономичное потребление энергии, что важно для автономных устройств.
- **Надёжность.** Устойчивость к внешним воздействиям (температуре, вибрациям).

Проведя анализ существующих феррометров, предлагается усовершенствованное техническое решение (рис.1) с улучшенными характеристиками и включающее следующие ключевые узлы:

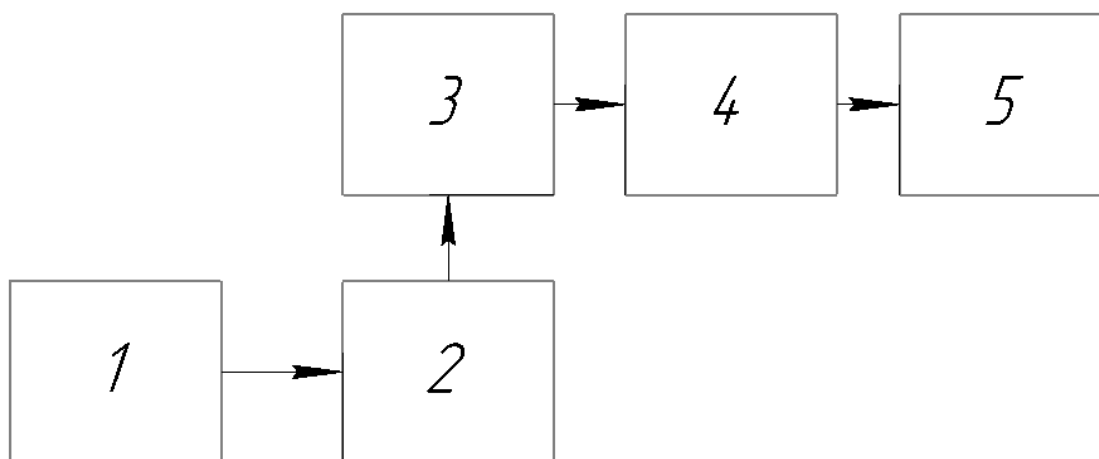


Рис.1. Блок схема феррометра

Проточная камера специальной конструкции (1) обеспечивает равномерный поток смазочного материала и минимизирует вероятность потери металлических частиц. В оптимизированный магнитный блок (2) помещён постоянный магнит с увеличенной силой магнетизма, что создаёт более стабильное поле и повышает эффективность захвата частиц. Использование современного датчика Холла (3) с улучшенной точностью позволяет фиксировать даже самые мелкие частицы. Электронный модуль с функцией калибровки (4) автоматически корректирует погрешности измерений, обеспечивая точность даже в сложных условиях измерения. Интерфейс пользователя (5) предназначен для вывода данных и смена режимов работы. Он может быть оснащен беспроводным модулем передачи данных (Wi-Fi или Bluetooth), что позволяет интегрировать его с системами промышленного интернета вещей (IIoT). Для разработки принципиальной реал

Заключение

Современные методы анализа смазочных материалов играют ключевую роль в диагностике состояния оборудования. Выявление металлической

стружки позволяет своевременно реагировать на износ деталей, предотвращая серьёзные поломки и сокращая простои.

Феррометры на основе датчиков Холла — перспективное направление в этом процессе. Их простота, мобильность и доступная стоимость делают их идеальным выбором для широкого спектра задач. Предложенное нами техническое решение сочетает повышенную чувствительность, стабильность работы и возможность интеграции с автоматизированными системами.

Внедрение таких устройств открывает новые горизонты для мониторинга оборудования, помогая улучшить надёжность техники и снизить затраты на её обслуживание. В условиях растущих требований к эффективности производства феррометры могут стать важным инструментом для предотвращения аварий и повышения общей производительности.

Библиографический список

1. Popovic, R.S. "Hall Effect Devices: Overview and Applications." // Журнал *Sensors and Actuators A: Physical*, Том 91, Выпуск 3, 2001, с. 46–54.
2. Кравченко, В.И., Мещеряков, А.Г. "Методы анализа и диагностики смазочных материалов." // *Машиностроение*, 2015.

© Иванов В.Ю., 2024

УДК 681.518.22

Д.Г. ИРАЕВ

iraev.d@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.А. МУХАМАДИЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ МАССЫ ПЧЕЛИНОЙ СЕМЬИ И ЕЕ ПРОДУКТОВ

Аннотация: в данной работе рассматриваются методы измерения массы пчелиной семьи и ее продуктов. Приведены устройства позволяющие обеспечить измерение массы рамки внутри улья и пути решения с их недостатками. Проведен анализ для организации математической модели нейросети, позволяющая определять массу отдельных продуктов пчеловодства.

Ключевые слова: умный улей, масса пчелиной семьи, измерение массы, нейросеть.

Пчелы играют важную роль в опылении растений и поддержании биоразнообразия, а также являются главным производителем мёда в сельскохозяйственных угодьях. Однако в последние годы наблюдается уменьшение популяций пчел, и возникает угроза их вымирания. Для поддержания их численности и для получения продуктов пчеловодства люди организуют пасеки. Пчеловодство требует определенных трудозатрат и ответственности, так как за пчелам требуется постоянное внимание. Пчеловоду перед началом занятий этим делом необходимо обладать необходимыми знаниями, опытом, экипировкой и оборудованием.

Современные тенденции развития пчеловодства включают в себя и применение цифровых технологий мониторинга состояния ульев [1, 5].

В медоносный период пчеловоду важно контролировать вес пчелиной семьи для определения их силы, а также количества меда, приносимого пчелами.

Определение силы семьи для пчеловода является легкой задачей, так как он зависит от количества особей рабочих пчел: чем больше пчел в улье, тем семья сильнее. Для этого достаточно посмотреть на леток и приблизительно оценить количество вылетающих пчел. Определить количества меда намного труднее. Для того чтобы узнать сколько мёда собралось внутри улья, необходимо вмешательство человека в семью, что имеет негативное влияние, так как в таком случае пчеловод беспокоит пчел, отвлекая их сбора мёда на восстановление порядка внутри улья.

Одним из популярных методов определения количества меда на пасеке является измерение массы улья. В нем используется контрольный улей

с пчелиной семьей, в котором определяется количество нектара, принесенного пчелами за день, и осуществляется контроль за снижением массы улья в безнектарный период. Со дня выставки пчел и до уборки ульев в зимовник каждый вечер (по окончании лета пчел) контрольный улей взвешивают (с точностью до 100 г). Показания записывают в дневник, где отмечают также все изменения массы контрольного улья при работе с пчелиной семьей. Существенное увеличение привесов контрольного улья свидетельствует о начале главного медосбора, а их снижение – о его завершении. По окончании медосбора по данным дневника подсчитывают сумму привесов контрольного улья и по полученным результатам определяют продуктивность пчелиной семьи и всей пасеки [2].

Данный метод является относительно точным и может приблизительно дать оценку количества меда в семье. Погрешность измерения состоит в том, что при данном методе измеряется общая масса улья, то есть необходимо учитывать массы корпуса, рамок, особей и других продуктов, производимых пчелами. Также данный способ позволяет следить только за динамикой изменения массы улья и не носит большей информативности.

Одним из новых способов определения количества меда в улье является измерения массы рамок. Его преимущество перед предыдущим заключается в следующем: во-первых, измеряется не весь улей, а только рамка, что приносит меньше погрешности в измерении. Во-вторых, можно следить за динамикой изменения массы внутри самого улья, так как пчелы разносят мёд неравномерно по всему улью. В-третьих, при данном методе можно контролировать и другие параметры при подключении искусственного интеллекта или нейросетей. Так, благодаря этому методу можно определить массу расплода и других продуктов пчелиной семьи, находящихся на рамках, количество особей, оставшихся внутри улья, в медоносный период.

Для определения оптимального способа определения массы рамок проведем анализ существующих методов.

Использование тензорезистора. Тензорезисторы представляют тонкую пластину с различными размерами, от которых зависит чувствительность.

Способ их реализации внутри улья заключается в том, чтобы их установить на место посадки плечика рамки. Её габариты позволяют спрятать чувствительный элемент, что изолирует его от пчёл.

Несмотря на свою полезность, тензодатчики сталкиваются с ограничениями:

- Неспособность измерять статические нагрузки;
- Нелинейный выходной сигнал;
- Необходимость в дополнительных компонентах (мост Уинстона) для работы;

– Требуется калибровка и компенсация температурных отклонений.

Приведем решения некоторых из проблем:

1. Для решения ползучесть тензорезисторов может быть откорректирована изменением замыкающих петель измерительной решётки. Эффект поступругости материала, таким образом, приводит к положительной ошибке, а ползучесть – к отрицательной. В идеальном случае эти ошибки компенсируют друг друга;

2. Влияния температуры преобразователя на его сопротивление и линейное расширение можно пренебречь, так как пчелы стараются выдерживать постоянную температуру во всем улье;

3. Изменения крутизны характеристики преобразования от времени из-за старения материалов, особенно из-за изменения свойств клеящих компонентов потребует ежегодную калибровку тензорезисторов.

В качестве альтернативы тензорезисторам можно также рассмотреть датчики с использованием МЭМС. Такие устройства не имеют описанных выше недостатков. В них качестве чувствительного элемента выступает тонкая, например, кремниевая пластинка (мембрана). Она может иметь прямоугольную или круглую форму. Толщина её может быть одинаковой или иметь сформированный жёсткий недеформируемый центр, который снабжен упругой перемычкой по контуру [3].

Использование актуатора. В качестве измерителя массы рамки можно воспользоваться актуатором – исполнительным устройством, например, электроприводом. Суть метода заключается в том, чтобы приподнять рамку и измерить вес. Актуатор имеет прямо пропорциональную зависимость потребляемого тока от внешней силы. Используя его зависимость, по силе тока можно определить нагрузку.

Использование данного метода измерения веса ульев имеет несколько недостатков:

1. Раздражение пчел. Вибрации и движения в улье могут беспокоить пчел, имитируя вмешательство внутрь семьи;

2. Налипание прополиса. Пчелы могут наносить липкий прополис на привод или рамки улья. Это может влиять на результаты измерения, создавая дополнительное сопротивление.

Чтобы решить эти проблемы, необходимо внести изменения в конструкцию улья:

– Привод следует разместить внутри стенки улья, чтобы пчелы не имели к нему доступа;

– Рамки следует модифицировать, чтобы предотвратить налипание прополиса.

Для улучшения точности измерения и увеличения информативности о том, что находится на рамке можно подключить нейросети. Так для его обучения необходимо знать параметры рамки с различными массами.

Полностью заполненный, хорошо отстроенный сот вмещает 3,6–4 кг мёда или 1,3–1,5 кг перги, вес пустого сота 350–400 грамм. В улье обычно используют 12 рамок, из которых 4 заполнены мёдом или пергой.

В среднем в медосборный сезон масса всех пчел 4,2 кг или 42000 пчел из расчета 1 кг – 10000 пчёл. В главном медосборе принимают участие треть части особей в семье, то есть 14000 пчел. В среднем одна пчела за один день приносит около 0,5 г нектара или 0,1 г мёда. Часть мёда расходуется на расплод примерно 40–50 г в сутки. Таким образом, при благоприятных условиях в сутки пчелы могут принести до 1,4 кг мёда.

Количество расплода (открытого и печатного) в соте определяется рамкой-сеткой из 40 квадратов с размером ячеек 50×50 мм. Один квадрат обеспечивает выход 100 пчёл (10 г). В одной улочке (между двумя сотами) размещается – 250 грамм пчёл. Таким образом, масса пчел на одной рамке примерно 350 г [4].

После проведенного анализа можно обучить нейросеть следующим образом:

1. Малый прирост веса на рамке за сутки свидетельствует о появлении расплода на данной рамке и можно предположить количество особей, находящихся на рамке.

2. Большой прирост массы может свидетельствовать о заполнении пчелиными продуктами.

3. При смешанном заполнении необходимо будет предусмотреть расчет динамики прироста массы на сутки, а также в какой период происходит изменения веса рамки.

Таким образом, в данной статье рассмотрены различные методы измерения массы пчелиной семьи, предложены различные способы для измерения массы отдельных рамок и проведен анализ для расчета нейросети, обеспечивающей наблюдение за пчелами.

Библиографический список

1. Научное обеспечение инновационного развития цифровых технологий в пчеловодстве / Н. А. Логинов, N. Loginov, С. В. Сочнева [и др.] // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. — 2023. — № 1 (5). — С. 58-63.

2. Самсонова, И.Д. Современные методы оценки ресурсов медоносных угодий / И. Д. Самсонова, А. А. Плахова // Вестник НГАУ. — 2023. — № 4. — С. 272-285.

3. Микроэлектромеханические системы и датчики : учебное пособие / М. Е. Калинин, О. И. Пирожникова, В. Л. Ткалич, А. В. Комарова. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2020. — 75 с. — [Электронный ресурс] // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/190956> (дата обращения: 17.11.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Пчеловодство в цифрах // Пчеловодное д'флю URL: <https://www.apispb.ru/pchelovodstvo-v-cifrax/> (дата обращения: 17.11.2024).

5. Гаитов Р.З., Мухамадиев А.А. Информационно-измерительная и управляющая система мониторинга пчелосемей // Электротехнические и информационные комплексы и системы.- 2020. -Т. 16.- № 2.- С. 112-111.

© Ираев Д.Г., 2024

УДК 621.396.49

Е.Б. КОВАЛЕНКО

Hjpf200305@yandexl.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

КОММУТАТОР ВИДЕОПОТОКА В ВИДЕОПОДСИСТЕМЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация: в данной статье рассматривается использование переключателя видеопотока для последовательного вывода изображения с двух камер беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Ключевые слова: Video Switcher Module, коммутатор видеопотока, видеокамера, БПЛА, дрон.

Введение

Видеокамеры устанавливаются практически на всех современных беспилотных летательных аппаратах. Они могут быть как цифровыми, так и аналоговыми, и используются для наблюдения за объектами в реальном времени или для видеосъемки. Камеры, предназначенные для высококачественной съемки, обычно размещаются на специализированных гиросtabilизированных подвесах, которые позволяют управлять углом поворота камеры по двум или трем осям. В недорогих аппаратах, предназначенных для полетов в режиме FPV (First Person View), часто устанавливается одна аналоговая камера, положение которой также может регулироваться с помощью сервопривода. Однако механические устройства для отклонения камер обладают значительной инерционностью. В ряде случаев для быстрой оценки обстановки целесообразно устанавливать на борту две переключаемые камеры: одну с горизонтальной осью (для курсового обзора) и другую с вертикальной (для наблюдения за поверхностью земли). Для реализации данного решения необходим коммутатор видеопотока.

Коммутатор видеопотока (Video Switcher Module) представляет собой отдельную плату, способную поддерживать параллельную работу нескольких

видеоканалов. С одной стороны платы расположены порты подключения, на которые подаются сигналы от камер. С другой стороны находится порт питания, земля и выход одного из сигналов с выбранной камеры. Этот выход подключается к видеопередатчику, который передает сигнал на видеоприемник, позволяя получать изображение, например, в FPV-очках или шлеме. При переключении тумблера с пульта дистанционного управления плата полетного контроллера должна подать сигнал на переключатель видеопотока, который коммутирует выход и тем самым позволяет получать изображение с другой камеры (Рис.5).

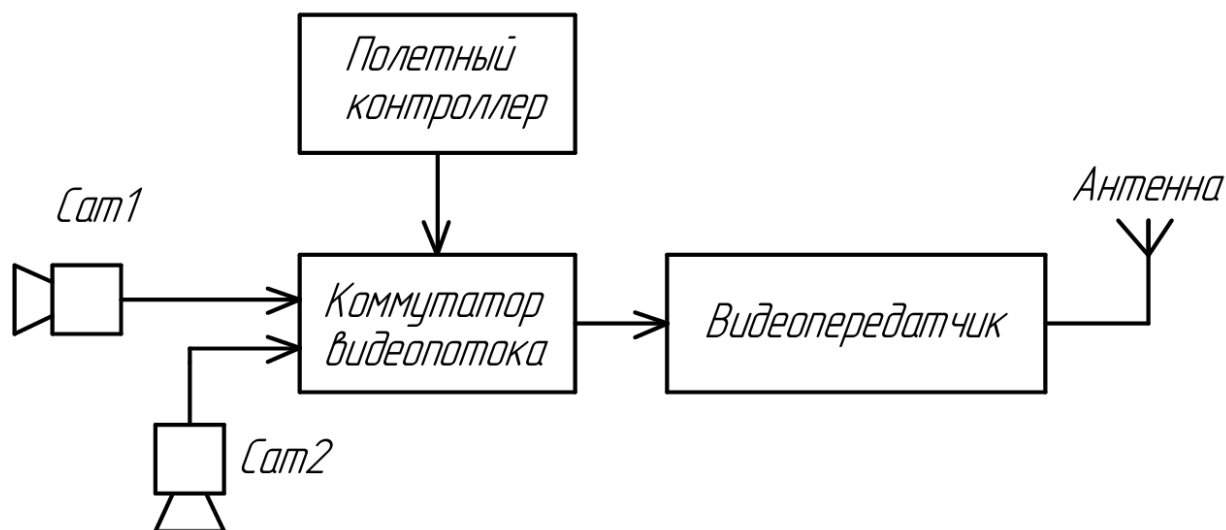


Рис. 5. Схема интеграции видеокоммутатора в систему

Преимущества использования коммутаторов

К основным достоинствам таких устройств можно отнести не только гибкость переключения между камерами и их интеграцию на борту летательного аппарата, но и улучшенное качество передачи сигнала за счет минимизации задержек и обеспечения стабильности соединения. Часто такие коммутаторы могут быть двух- и трехканальными, поддерживающими два и три сигнала с камер соответственно. Стоимость таких устройств на рынке варьируется в зависимости от производителя и функциональности. На торговой платформе AliExpress средняя цена трехканальных видеопереключателей составляет 298 рублей, тогда как двухканальных – 1199 рублей [1, 2]. Существуют также более дорогие модели, такие как Hikvision DS – 3E0526P – E (20 730 рублей) и более продвинутая система Hikvision DS – 3E0510P – E (34 260 рублей), которые являются мощными и габаритными коммутаторами по сравнению с ранее упомянутыми устройствами; они предназначены не только для систем дронов, но также могут использоваться в системах видеонаблюдения [3, 4].

Рассмотрим пример использования системы с видеопереключателем в сравнении с однокамерной видеоподсистемой БПЛА. Предположим, у дрона

имеется задача: доставить груз к определенной точке и вернуться обратно. Когда дрон подлетает к месту сброса груза, оператору необходимо увидеть точное расположение места сброса. Изменение угла обзора занимает время и требует от оператора удержания дрона в строго ограниченной области пространства, что может быть затруднительно при недостаточной стабильности системы управления. Теперь рассмотрим аналогичный дрон с двумя камерами: одна направлена вдоль продольной оси дрона, а другая – перпендикулярно вниз на землю. Когда он достигает точки сброса груза, оператор переключает тумблер, выводя изображение с нижней камеры. Груз успешно сбрасывается, после чего оператор снова переключается на первую камеру для возвращения дрона обратно на место отправления. Даже в случае повреждения одной из камер наличие второй позволяет завершить миссию. Такой подход минимизирует время выполнения задания и увеличивает вероятность его успешного завершения. Кроме того, снижается нагрузка на вычислительные ресурсы летательного аппарата во время перестройки изображения; переключение камер становится более интуитивным и простым действием.

При разработке видеоподсистем БПЛА с видеокмутаторами необходимо учитывать следующее:

- Увеличение сложности структуры системы дрона.
- Обязательная проверка совместимости компонентов.
- Увеличение массы коптера.
- Введение большего числа компонентов в систему уменьшает ее надежность; если коммутатор выйдет из строя, возможности использования камер будут потеряны.
- Наличие задержек и инерционности при переключении сигнала (что критично для гоночных FPV-дронов).
- Неустойчивость к перегреву (может потребоваться охлаждение).
- Возможность необходимости в дополнительном программном обеспечении для управления коммутатором (что увеличивает сложность разработки).

Заключение

Переключатель видеопотока как дополнительное устройство обладает рядом преимуществ и недостатков; однако для определенных ситуаций и задач его использование может значительно оптимизировать процессы управления.

Библиографический список

1. <https://aliexpress.ru/popular/коммутатор-видео-fpv.html>
2. <https://aliexpress.ru/popular/drone-video-switcher.html>
3. <https://godrone.ru/catalog/usiliteli-i-retranslyatory-dlya-dronov/>
4. <https://godrone.ru/catalog/kommutatory-i-kabeli/>

© Коваленко Е.Б., 2024

УДК 536.521

Д.В. КРАСНОВ

Den.Krasnov@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.А.МУХАМАДИЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ПРОДУВКИ ВОЗДУХОМ ПИРОМЕТРА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: оптическая пирометрия обеспечивает эффективное средство прямого измерения температуры лопаток турбины в авиационных газотурбинных двигателях (ГТД). Однако наибольшую проблему при использовании пирометрии в эксплуатации представляет загрязнение, поскольку линза прибора подвергается воздействию среды турбины.

Ключевые слова: пирометрия; конфигурация; газотурбинный двигатель; источник загрязнения; системы продувки; линза; тепловое излучение.

В данной статье представлен обзор и оценка основных конструкций устройств продувки воздухом, применимых к проблеме загрязнения линз пирометра частицами.

Оптическая пирометрия — это бесконтактный метод измерения температуры поверхности, который не нарушает поверхность целевого материала или окружающую среду [1].

Метод основан на определении температуры объекта путем измерения теплового излучения, испускаемого поверхностью объекта.

Устройство работает путем сбора теплового излучения с определенной площади поверхности, которое оптически передается на детектор для получения электрического сигнала, пропорционального мощности излучения поверхности.

Оптические пирометры, установленные в газотурбинных авиационных двигателях, обеспечивают прямые измерения температуры лопаток турбины, причем полученные данные являются ключевыми входными данными для предоставления реалистичной оценки истории эксплуатации компонента и связанного с ним срока службы, пример конфигураций продувки воздухом показан на рис.1.

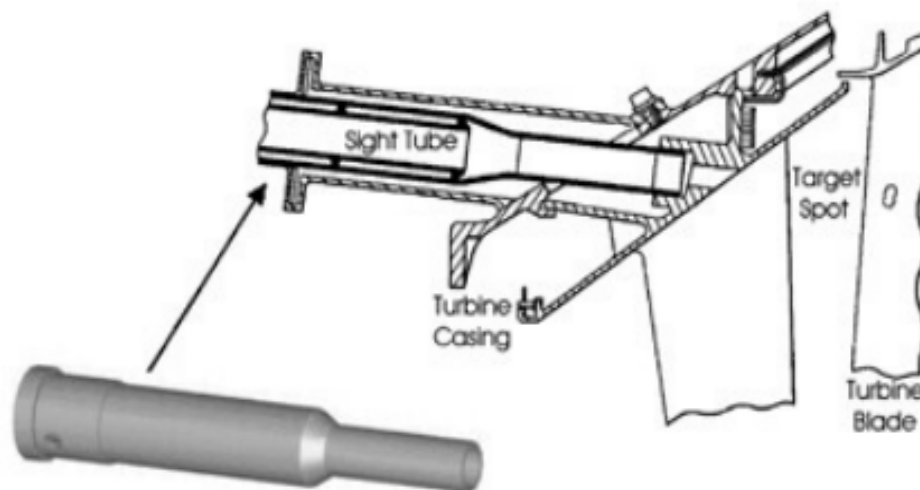


Рис.1. Схема продувки воздухом

Существует только два источника загрязнения линз в любой системе продувки воздуха пирометра [2].

Первый и наиболее очевидный — это частицы газового потока в камере турбины, которые попадают через прицельное отверстие визирной трубки. Именно этот источник загрязнения, называемый проникновением в камеру турбины, используется системой продувки воздуха для минимизации, если не предотвращения. Рабочий механизм системы продувки заключается в обеспечении и поддержании положительного давления через визирную трубку, чтобы предотвратить проникновение частиц в газовом потоке турбины в визирную трубку и попадание их в линзу.

Такие проникающие частицы обычно имеют высокую инерцию, и, таким образом, поток продувочного воздуха должен быть достаточным для перенаправления этих загрязняющих веществ обратно вокруг и вниз по визирной трубке, чтобы повторно попасть в камеру турбины.

Наиболее значительными твердыми частицами в газовом потоке турбины являются взвешенные частицы, которые образуются в процессе сгорания, причем сажа является основным компонентом. Конечно, присутствует много других частиц, таких как те, которые были захвачены двигателем, например, песок, и частицы из самого двигателя через эрозию компонентов, таких как защитные покрытия на лопатках.

Другим фактором, способствующим загрязнению линз, более тонким, но не менее значительным, является тот факт, что источник продувочного воздуха отводится из компрессора, что означает, что частицы присутствуют в самом потоке продувочного воздуха.

Таким образом, в некоторых конструкциях продувочный воздух фактически может быть отнесен к причине загрязнения линз, а не к минимизации осаждения, как предполагалось.

Этот второй источник загрязнения, называемый осаждением продувочного воздуха, при котором частицы из продувочного воздуха могут осадаться, иногда легко упускается из виду в некоторых системах.

Воздух, отбираемый компрессором, используется в качестве источника для системы продувки пирометра, и обычно он наполнен частицами, которые возникают из окружающей атмосферы, засасываемой двигателем из окружающей атмосферы, всасываемой двигателем.

Простым решением было бы удаление этих частиц из продувочного воздуха с помощью фильтра; однако такие элементы не являются предпочтительными из-за проблем с обслуживанием, веса и того факта, что это еще один компонент, который должен быть добавлен к авиадвигателю вместе с последующими последствиями, которые могут возникнуть при его установке и обслуживании.

Общая конфигурация продувочного воздуха – это концепция конструкции систем продувки пирометра заключается в подаче продувочного воздуха вниз по удлиненной цилиндрической смотровой трубке, в которой находится линза [3].

Действие выходящего продувочного воздуха служит для того, чтобы остановить большинство частиц от прохождения вверх через прицельное отверстие и контакта с линзой.

В общем, узел продувочной трубки состоит из корпуса линзы, в основном трубки, которая удерживает линзу на месте, и продувочного рукава, который является еще одной трубкой, которая устанавливается перед корпусом линзы и имеет ряд продувочных впускных отверстий для ввода продувочного воздуха, как показано на рис.2.

Следует отметить, что продувочных впускных отверстий может быть любое желаемое количество, достаточное для обеспечения адекватного объема продувочного потока, и, как правило, имеет круглую форму.

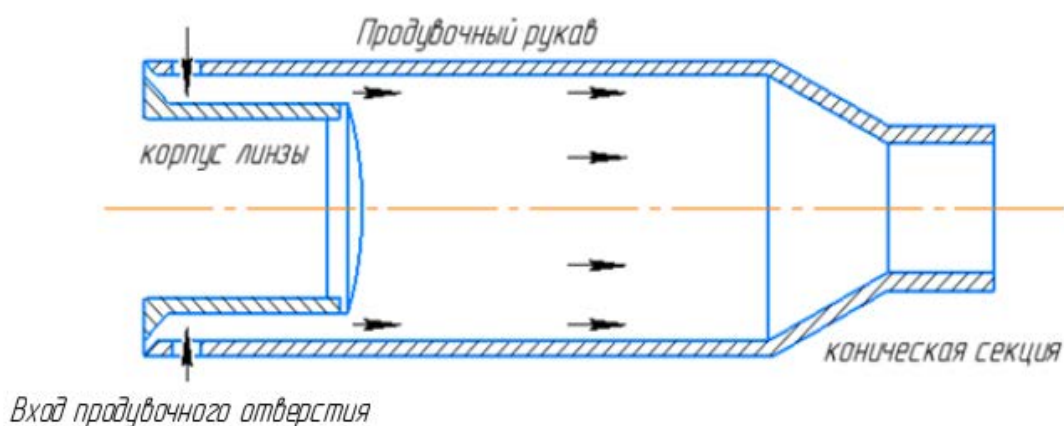


Рис.2. Фундаментальная конструкция продувки

Продувочный рукав состоит из цилиндрических и конических секций, которые определяют воронкообразную форму.

Получающийся сходящийся профиль продувочного рукава означает, что он функционирует как сопло, так что скорость потока продувочного воздуха увеличивается через коническую

секцию, чтобы минимизировать любой обратный поток внутри смотровой трубы, который иначе затягивал бы частицы из турбинной камеры.

Концепция конструкции воздушной завесы, показанная на рис.3, заключается в том, чтобы обеспечить поток воздуха перед линзой, тем самым создавая барьер, который предотвращает попадание любых загрязнений в смотровую трубку.

Однако из этого подхода вытекают два недостатка, а именно, частицы могут застревать и затем накапливаться в мертвой зоне воздуха между линзой и воздушной завесой). Во-вторых, нет механизма для удаления любых частиц, которые могут осесть на поверхности линзы после выключения авиадвигателя, за исключением, конечно, очистки во время планового обслуживания

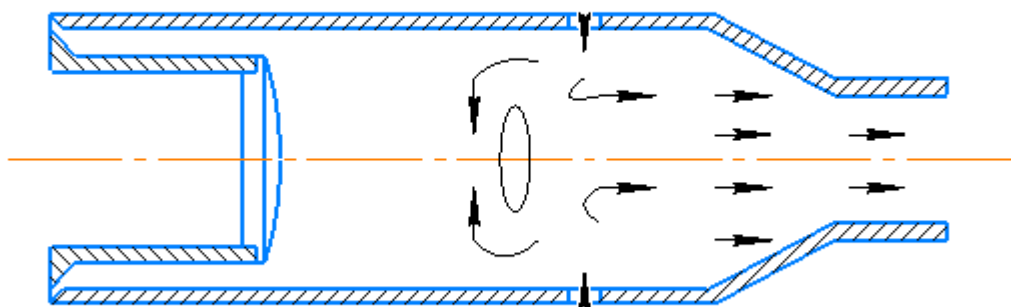


Рис. 3. Конфигурация воздушной завесы

Концепция конструкции для конфигурации неподвижной трубки та же, что и у воздушной завесы, то есть, чтобы обеспечить барьер для воздушного потока перед линзой. Однако этот барьер продувочного воздуха формируется с добавлением удлинителя неподвижной трубки перед линзой, как показано на рис.4. У неподвижной трубки есть функция создания неподвижной области перед линзой, чтобы предотвратить любые загрязнения, даже те, которые находятся в самом продувочном воздухе, от осаждения на линзе.

Основным недостатком этой конфигурации является то, что нет механизма для удаления любых частиц, которые могут осесть на поверхности линзы после выключения авиадвигателя, за исключением ручной очистки, проводимой во время планового обслуживания.

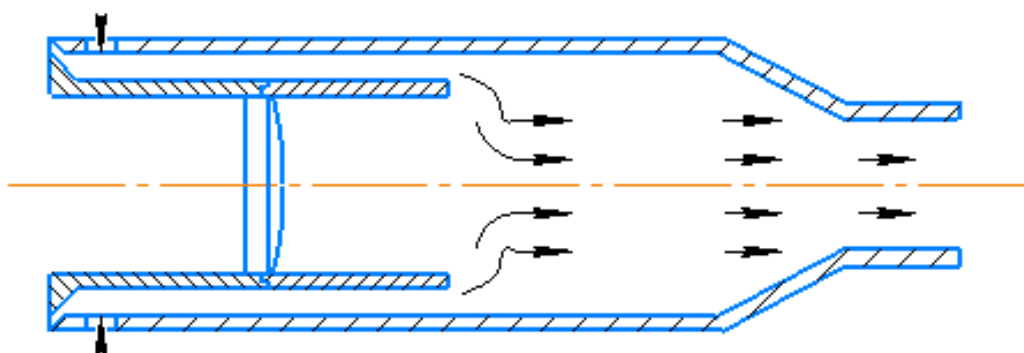


Рис.4. Конфигурация неподвижной трубки

Задача системы продувки пирометра заключается в том, чтобы поддерживать чистоту линзы прибора или, по крайней мере, минимизировать уровень оптического загрязнения, и есть принципиально три общие конструкции продувки, которые можно использовать, а именно: воздушная завеса, очистка воздухом и конфигурации неподвижной трубки.

Конструкция очистки воздухом работает, направляя поток продувочного воздуха через линзу, чтобы очищать ее поверхность.

Библиографический список

1. Григорьев В.А. Испытания и обеспечение надежности авиационных ГТД и энергетических. Краткий курс лекций / Минобрнауки РФ; Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева. Самара, 2011. - 112 с.
2. Васин Н.Н. Устройства измерения температуры вращающихся объектов на основе бесконтактных индуктивных токосъемников 1997 - 132с
3. Сенюев И.В. Развитие методов пирометрии применительно к аэродинамическому эксперименту 2019. – 126с

© Краснов Д.В., 2024

УДК 692.391

А.Д. ПАНЧЕНКО

Sanchez_ad@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.Л. ТИМОФЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРОДЛЕНИЕ СРОКА АКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКА С ПОМОЩЬЮ ТЕСТОВОГО КОМПЬЮТЕРА НА БОРТУ

Аннотация: в данной статье рассматривается концепция тестового компьютера, предназначенного для продления срока активного использования спутника за счёт мониторинга и обнаружения ошибок в работе основного бортового компьютера. Тестовый компьютер будет осуществлять постоянный контроль состояния системы, выявлять критические ошибки и выполнять перезапуск основного компьютера при необходимости.

Ключевые слова: тестовый компьютер, обнаружение ошибок, мониторинг состояния, голографическое кодирование, продление активного использования.

Введение

Спутники, которые разработаны для различных целей, таких как связь, навигация и научные исследования, сталкиваются в условиях космоса с множеством испытаний. Основные компьютеры спутников могут подвергаться сбоям из-за различных факторов, таких как радиация и нестабильность температурного режима. Для повышения надежности и продления активного использования спутников целесообразно внедрить на борт тестовый компьютер, который будет работать рядом с основным компьютером. В данной статье предоставлена концепция тестового компьютера, его архитектура и функции.

Концепция тестового компьютера

Концепция тестового компьютера для спутников состоит из несколько ключевых аспектов, направленных на улучшение надежности и продление активного использования космических аппаратов. Далее представлено детальное описание этой концепции:

1. Структура системы: система состоит из основного компьютера, который отвечает за выполнение всех критически важных функций спутника, таких как управление полетом, обработка данных и связь, а также и тестового компьютера, который будет анализировать свою память и выполнять перезапуск основного компьютера. Тестовый компьютер может быть менее мощным, но достаточно функциональным для выполнения вышесказанных

задач. Тестовый компьютер должен находиться рядом с основным компьютером на борту спутника для минимизации задержек в коммуникации и обеспечения надежности передачи данных;

2.Обнаружение и регистрирование ошибок в своей памяти: для повышения надежности спутника тестовый компьютер, как и основной будет получать те же ошибки и регистрирование их себя в памяти до определенного количества. Также можно упомянуть о идее использования голографических принципов кодирования для распознавания ошибок, которая была сформулирована в работах [1, 2]. Голографическое кодирование — это метод обнаружения и исправления ошибок, который позволяет эффективно проверять целостность данных и восстанавливать информацию в случае повреждений. Голографическое кодирование может быть реализовано как модуль программного обеспечения, который будет работать на тестовом компьютере и обеспечивать дополнительный уровень защиты. Голографический метод помехоустойчивого кодирования обеспечивает полное восстановление данных, содержащих до 40 % случайных независимых ошибок и до 100 % зависимых пакетных ошибок [3]. Несмотря на преимущества, голографическая память еще не была широко протестирована в условиях космического полета. Это связано с высоким уровнем сложности технологии и необходимостью разработки специализированного оборудования для записи и считывания данных в условиях космоса;

3.Выполнение перезапуска основного компьютера: в случае накопления критического количества ошибок тестовый компьютер отправит сигнал на реле для перезапуска основного компьютера;

4.Мониторинг состояния: тестовый компьютер будет регулярно получать сигналы от основного компьютера для проверки его работоспособности;

5.Устойчивость к внешним воздействиям: тестовый компьютер должен быть спроектирован с учетом того, что спутники подвержены различным внешним воздействиям, такие как космическая радиация, электромагнитные помехи и температурные колебания. И поэтому тестовый компьютер должен включать в себе те же компоненты что и основной компьютер;

6.Программное обеспечение: программное обеспечение тестового компьютера, который после выполнения перезапуска получает сигнал работоспособности основного компьютера и обнуляет свою память для дальнейшего распознавания ошибок;

7.Преимущества концепции: повышение надежности, так как постоянный мониторинг системы позволяет быстро реагировать на сбои. В том числе, при использовании голографического метода, повышается надежность хранения информации в системах, подверженных воздействию ионизирующего излучения (космическая техника) [4]. А также продление активного использования спутника, так как возможность раннего обнаружения ошибок помогает избежать серьезные неисправности;

Архитектура системы

Архитектура тестового компьютера будет включать следующие компоненты:

- 1.Процессор: высокопроизводительный процессор, который способен обрабатывать данные в реальном времени;
- 2.Память: модуль оперативной памяти для хранения временных данных и кода;
- 3.Хранилище: флеш-память или жесткий диск для хранения программного обеспечения и данных о состоянии системы;
- 4.Интерфейсы связи: модули для связи с основным компьютером и внешними системами (например, радиосвязь);
- 5.Система питания: надежный источник питания с резервированием;
6. Модуль мониторинга: отдельный компонент, который отвечает за опрос состояния основного компьютера;
- 7.Модуль обнаружения ошибок: алгоритмы и механизмы, которые позволяют обнаруживать и накапливать ошибки до определенного количества в памяти;
- 8.Система управления: обеспечивает взаимодействие между всеми компонентами и управляет их работой. Включает операционную систему и управляющее программное обеспечение.

На рис. 1 показана архитектура тестового компьютера на борту спутника.

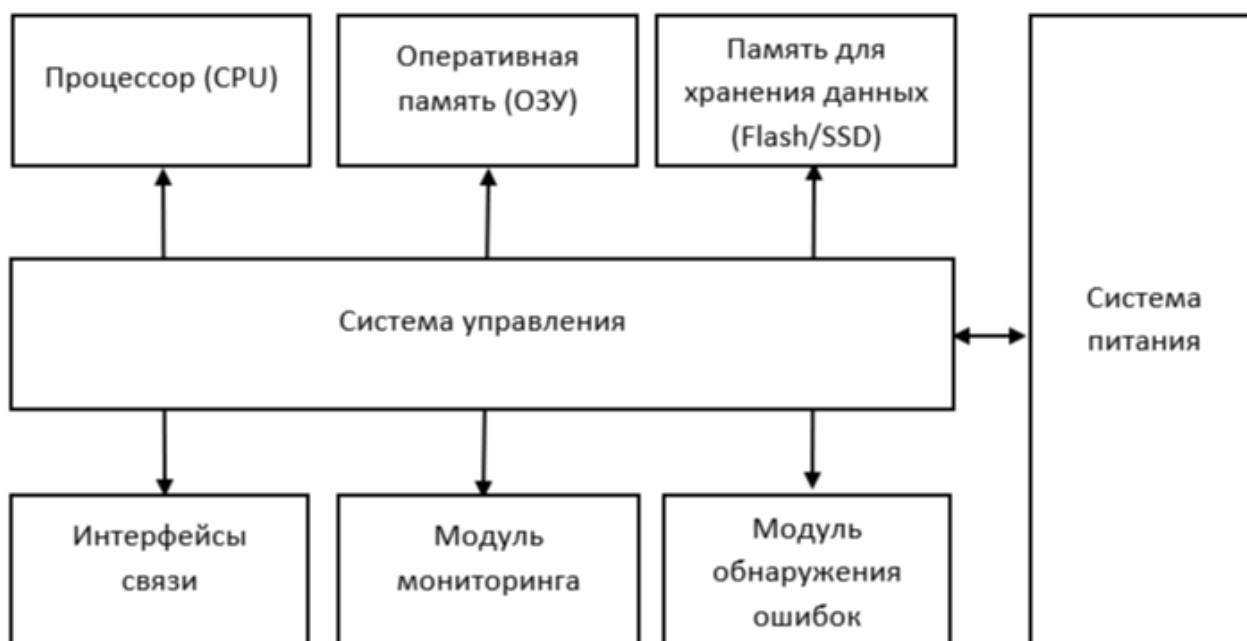


Рис. 1. Архитектура тестового компьютера

Мониторинг и диагностика

Тестовый компьютер должен регулярно опрашивать основной компьютер на наличие ошибок. Это можно реализовать с помощью специализированного программного обеспечения, которое будет выполнять следующие задачи:

1. Запрос состояния: периодические запросы о состоянии системы;
2. Анализ данных: обработка полученных данных для определения наличия ошибок;
3. Логирование ошибок: запись всех обнаруженных ошибок в хранилище для последующего анализа.

Полученные данные будут подвергаться предварительной обработке, включая фильтрацию и нормализацию. Это необходимо для устранения ошибок и обеспечения точности измерений.

Тестовый компьютер будет периодически выполнять проверки целостности программного обеспечения и аппаратных компонентов. Это может включать в себя проверку наличия ошибок в памяти, работоспособности процессора и других критически важных узлов.

Заключение

Внедрение тестового компьютера на борту спутника представляет собой эффективный способ продления его активного использования. Система мониторинга и обнаружения ошибок позволит своевременно реагировать на сбои в работе основного компьютера, что повысит общую надежность спутника.

Реализация данной концепции требует тщательной разработки архитектуры, программного обеспечения и тестирования в условиях, приближенных к реальным.

Библиографический список

1. Bruckstein A.M., Holt R.J., Netravali A.N. Holographic image representations: the subsampling method // IEEE Int. Conference on Image Processing. Santa Barbara. California, USA. 1997. Vol. 1. P. 177–180.
2. Bruckstein A.M., Holt R. J. Netravali A.N. Holographic representation of images // IEEE Transactions on Image Processing. 1998. No. 7. P. 1583–1587.
3. Тимофеев А.Л. Построение помехоустойчивого кода на базе голографического представления произвольной цифровой информации / А.Л. Тимофеев, А.Х. Султанов // Компьютерная оптика, 2020, том 44, №6 DOI: 10.18287/2412-6179-CO-739
4. Timofeev, A.L. Holographic method for storage of digital information / A.L. Timofeev, A.Kh. Sultanov, P.E. Filatov // Proceedings of SPIE. – 2020. – Vol. 11516. – 1151604. – DOI: 10.1117/12.2566329.

© Панченко А.Д., 2024

УДК 52.08

Д.Г. ПЕТРОВ

DimaPetrovG1@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент. **А.А. МУХАМАДИЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ТЕРМОМЕТРИРОВАНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация: данная работа посвящена изучению влияния воздействия температуры на лопатки газотурбинного двигателя (ГТД), а также рассмотрению возможных методов для определения их температуры.

Ключевые слова: система термометрирования; лопатки; температура; термопара; оптоволокно; лазер; инфракрасное излучение; эффективность.

Систему термометрирования используют для измерения температурных полей элементов конструкций при эксплуатационных условиях с применением термопреобразователей и соответствующего измерительно-вычислительного комплекса. Система термометрирования точно определяет температуру измеряемого объекта, при неравномерности распределения температур элементов, с целью правильного использования этой информации в производственных процессах при создании более надежных материалов, использующихся для лопаток.

Современные газотурбинные двигатели своей эффективностью и выходной мощностью подвергают разрушению составные части и компоненты устройства, высокими температурами как на входе, так и на выходе. Вследствие чего приводит к быстрому сокращению срока службы лопаток ГТД.

Поэтому воздействие температуры на поверхность лопаток играет большую роль в авиастроении, данный аспект очень важен, так как он отражается на эффективности, надежности и долговечности двигателя [1].

Воздействие температуры на лопатки газотурбинного двигателя:

- Снижение прочности материалов: продолжительный нагрев высокой температурой, вызывает у материалов термическое напряжение, что приводит к разрушению лопаток;

- Изменение геометрической целостности: высокая температура может изменить первоначальную геометрию лопаток, которая отражается в ухудшении аэродинамических характеристиках;

- Коррозия и окисление: высокая температура способствует окислению материалов, снижая прочность при постоянных нагрузках.

Управление температурными режимами и использованием современных технологий, даёт возможность достичь высокой производительностью двигателя, что гарантирует его надежность и безопасность [2].

Лопатки газотурбинного двигателя представляют собой компоненты, которые обеспечивают преобразование энергии газа в механическую работу, от чего подвергаются температурному нагреву.

Лопатки изготавливаются из высокопрочных жаростойких сплавов, таких как никелевые и титановые, которые могут выдерживать температуру до 1600 градусов.

На рис.1 показано повышение температуры газа перед турбиной в энергетических ГТД по годам в сравнении с авиационными двигателями [3].

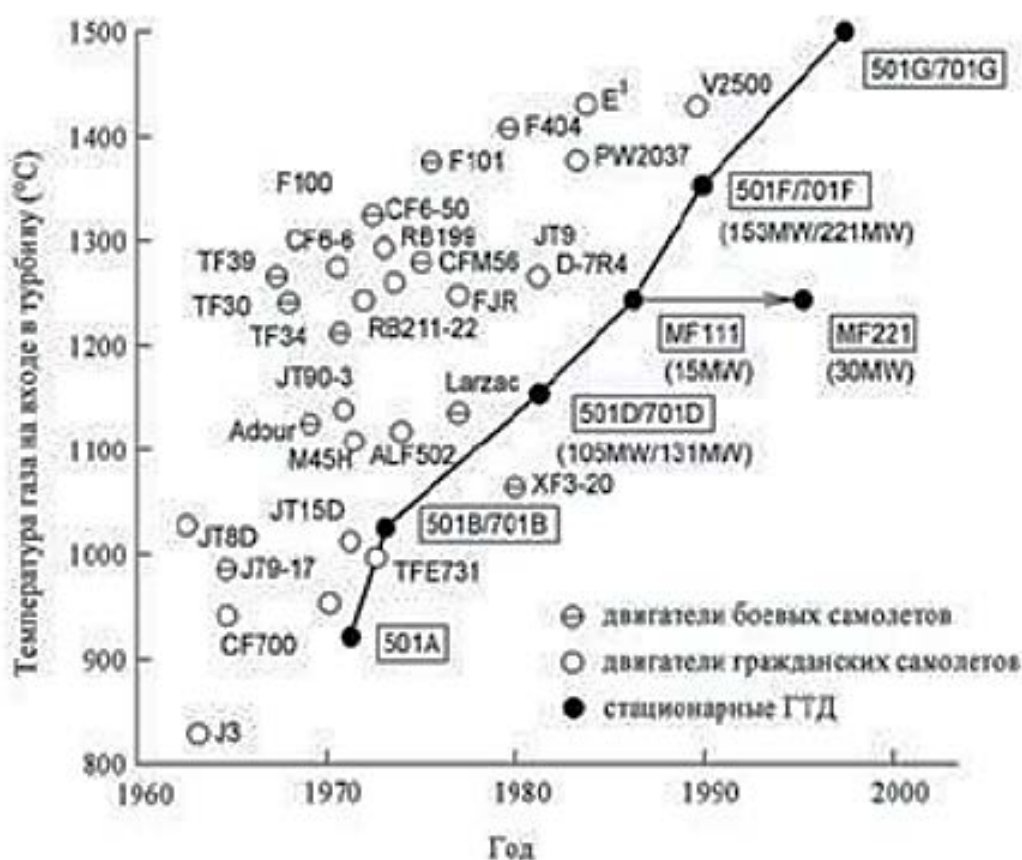


Рис. 1. Повышение температур газа на входе в турбину в различных ГТД

Особенности конструкций рабочих лопаток турбин ГТД определяются условиями их работы в виде высоких температур, теплосмен, неравномерного нагрева. Чтобы повысить прочность лопаток применяют различные технологии, показанные на рис. 2 [4].

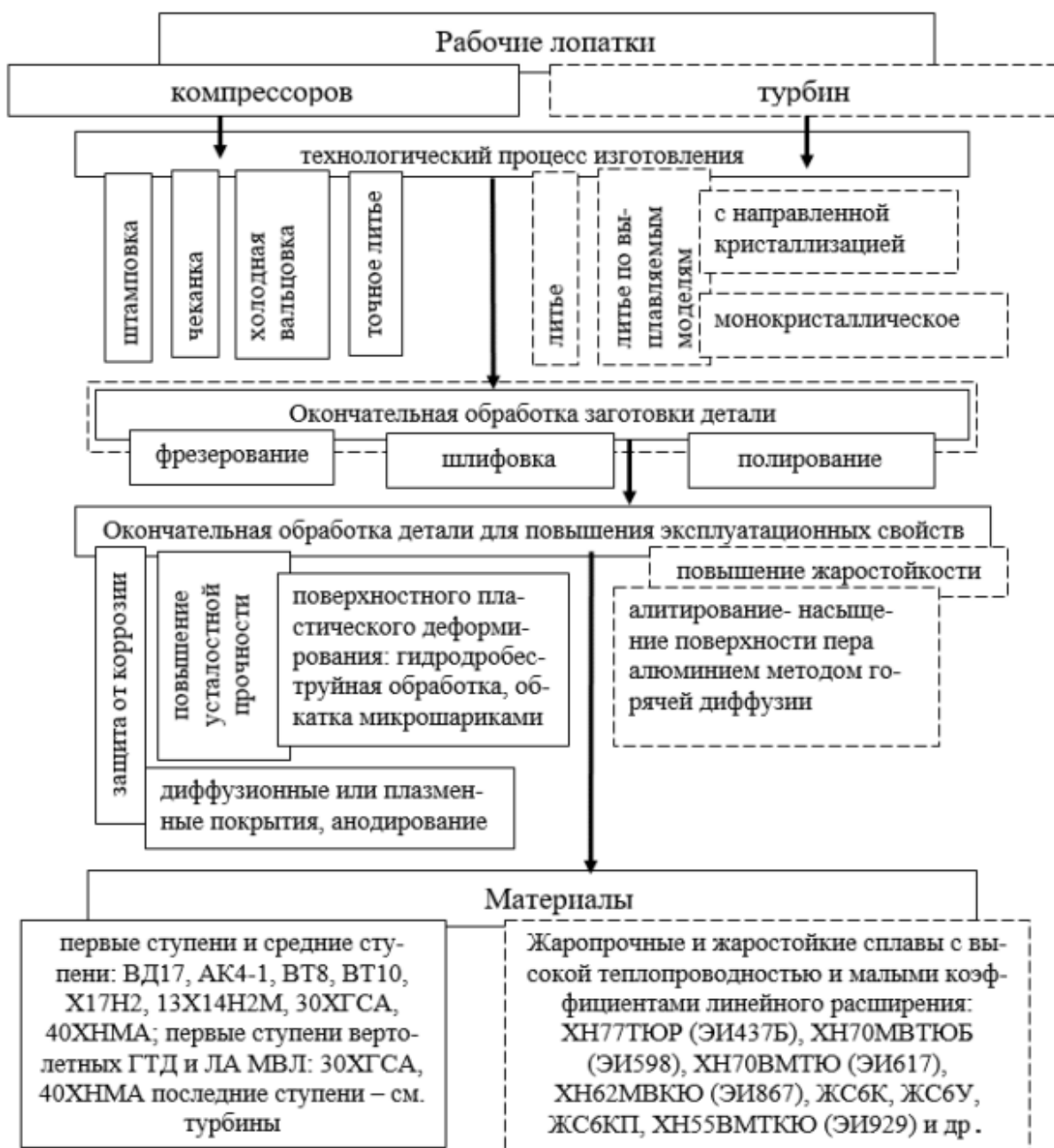


Рис. 2. Технологические процессы и материалы лопаток

В условиях с запредельной температурой, где работают лопатки ГТД, требуются различные измерительные системы для контроля состояния лопаток, в наземных условиях, так и в процессе полета. Измерительные элементы основан на излучении теплового излучения тел.

Методы термометрирования лопаток газотурбинного двигателя:

- Термопарный – состоит из двух проводников различных материалов, соединённых вместе. Измеряет разницу температур между двумя

проводниками, в следствие возникает термоэлектрический эффект, преобразующий тепловую энергию в электрический сигнал. Термопары могут устанавливаться на лопатки, так и вблизи них, имеют широкий температурный диапазон измерений;

- Инфракрасный – метод теплового излучения, который делает замер температуры, путем обнаружения интенсивности инфракрасного излучения, которое испускает измеряемый элемент. Имеет возможность получения картинки температурного поля [5];

- Оптический – измеряет температуру нагретых элементов, в поддиапазоне оптического излучения. Тепловой поток излучаемой нагретой поверхностью лопатки, воздействуя на фотоприёмник, преобразуется в электрический ток, функционально связанный с температурой лопатки;

- Лазерный – направленный луч лазера попадая на исследуемую поверхность, измеряет интенсивность излучения отраженного объекта. Имеет высокую точность, скорость измерения, может измерять высокие температуры. Чувствителен к окружающей среде – туману, пыли, дыму и т.д.

Выбор какого-либо из перечисленных методов зависят от различных факторов, таких как точность, температурный диапазон измерений и условием эксплуатации, а также надежности измерений.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс]: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350449522001852>
2. [Электронный ресурс]: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/9/3913>
3. Церетели А.А., Ельшин А.А. Определение температуры рабочего тела в турбине с помощью монокристаллического измерителя максимальной температуры // Авиационные двигатели № 2 (3), 2019. С.31-38.
4. Машошин О.Ф., Чичков Б.А. Ч-72 Рабочие лопатки авиационных ГТД: конструкция, прочность, эксплуатация. Учебное пособие для обучающихся по направлениям подготовки 25.03.01, 25.04.01.– М: МГТУ ГА, 2017. – 80с.
5. [Электронный ресурс]: <https://cyberleninka.ru/article/n/opticheskiy-pirometr-v-sisteme-termometrirovaniya-gtd/viewer>

© Петров Д.Г., 2024

УДК 615.47

Д.И. ПУТИНЦЕВ

putintsevdi@gmail.com

Науч. руковод. – д-р техн.наук, проф. **А.Ю. ДЁМИН**

Уфимский университет науки и технологий

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ МЫШЦ

Аннотация: в статье представлен прототип устройства, разработанного для контроля реабилитации мышц на основе анализа электромиографической активности. Это устройство позволяет оценивать прогресс восстановления пациента, обеспечивая сбор и обработку данных в режиме реального времени.

Ключевые слова: электромиография, реабилитация мышц, физиотерапия, мониторинг.

Уже существующие устройства для контроля мышечной реабилитации широко используются в физиотерапии, спортивной медицине и ортопедии. Но, несмотря на их распространенность, у них есть некоторые серьезные недостатки:

1. Громоздкость и стационарность: многие существующие системы требуют подключения огромного оборудования или подключение к стационарным компьютерам, что делает маловероятным их использование за пределами больничных условий.

2. Высокая стоимость: профессиональные системы мониторинга, такие как EMG и Noraxon, дороги и не могут использоваться для индивидуальных целей.

3. Сложность использования: работа с некоторыми устройствами требует специальной подготовки, поэтому пациенту неудобно самостоятельно ими пользоваться.

4. Отсутствие интеграции с мобильными технологиями: большинство систем не могут осуществлять передачу данных на смартфоны или облачные сервисы, что затрудняет анализ результатов в режиме реального времени.

Устройство, представленное нами, отличается от существующих за счёт следующих особенностей:

1. Компактность и портативность: устройство имеет небольшой размер и вес, что позволяет использовать его как в больницах, так и дома.

2. Небольшая стоимость: использование недорогих компонентов, датчиков, как Arduino Nano и MyoWare. Это позволит широкому кругу пользователей получить доступ к устройству.

3. Простота использования: система понятна, не требует специальных знаний и легко интегрируется в процесс реабилитации.

4. Интеграция с мобильными приложениями: данные отправляются на

смартфон пользователя в режиме реального времени, обеспечивая удобный доступ к аналитике и рекомендациям.

5. *Адаптивный анализ данных*: Устройство имеет алгоритм, который позволяет оценить мышечную активность и сравнить ее с эталонными значениями. Это поможет контролировать процесс реабилитации.

Таким образом, разработанный прототип направлен на устранение недостатков уже имеющихся решений, обеспечивая объективный и комфортный контроль мышечной реабилитации.

Устройство состоит из следующих элементов:

1. *Электромиографические датчики (ЭМГ-датчики)*: фиксируют электрическую активность мышц и передают аналоговый сигнал. Используется многоцветный ЭМГ-датчик Arduino MyoWare [2,9].

2. *Микроконтроллер*: это устройство основано на плате Arduino Nano33IoT, которая обрабатывает данные от датчиков, управляет подачей электроимпульсов и передает данные через Bluetooth [1].

3. *Источник электроимпульсов (модуль TENS)*: использует регулируемый электрический сигнал для стимуляции мышц. Используются параметры частоты и амплитуды, подходящие для диагностики и тренировки мышц [5,7].

4. *Мобильное приложение*: визуализирует данные, включая графики активности ЭМГ и реакцию на подаваемые импульсы [6,8].

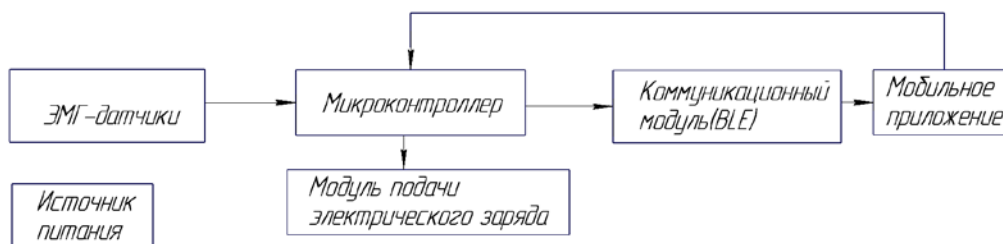


Рис. 1. Структурная схема устройства

Принцип работы основан на выполнении следующих операций:

1. Снятие базового сигнала

Перед началом стимуляции ЭМГ-датчики фиксируют текущую мышечную активность в состоянии покоя. Это создает отправную точку для сравнения изменений [2].

2. Подача электроимпульса

Через модуль подачи электрического заряда микроконтроллер передает импульсы мышцам. Параметры импульсов (частота, амплитуда, продолжительность) могут быть установлены из мобильных приложений и могут быть настроены в соответствии с вашими потребностями [5].

3. Фиксация отклика мышцы

ЭМГ-датчик находит изменения мышечной активности в ответ на стимуляцию.

Собранные данные обрабатываются микроконтроллером: рассчитывается амплитуда сигнала, скорость реакции и мышечная усталость [3,4].

4. Анализ и сравнение данных

Результаты сравниваются с эталонными значениями, чтобы определить текущий уровень восстановления. Низкая амплитуда ответа или длительное время ответа могут указывать на снижение мышечной функции [3,9].

Преимущества системы стимуляции электрическим импульсом заключаются в следующем:

1. *Точность*: подача импульса позволяет анализировать не только текущую активность мышц, но и их способность реагировать на внешние сигналы [5].

2. *Комплексный подход*: устройство контролирует и стимулирует одновременно, устраняя необходимость в нескольких устройствах [7].

3. *Адаптация параметров*: возможность выбора частоты и амплитуды импульса для различных этапов реабилитации [5].

Устройство сочетает в себе функции стимулятора и диагностического прибора, что делает его полезным для качественной реабилитации мышц.

Библиографический список

1. Arduino Nano 33 IoT Documentation. Официальная документация по использованию платы Arduino Nano 33 IoT. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.arduino.cc> (дата обращения: 13.11.2024).

2. MyoWare Muscle Sensor Datasheet. Описание и характеристики электромиографических сенсоров MyoWare. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sparkfun.com/products/13723> (дата обращения: 14.11.2024).

3. Mishra, P., & Kumar, A. Electromyography in rehabilitation: A review // International Journal of Physiotherapy. – 2022. – Vol. 9, Issue 3. – P. 85–92.

4. Peterson, D. EMG Sensors: Applications in modern rehabilitation // Journal of Biomechanical Engineering. – 2021. – Vol. 143, No. 6.

5. Abidin, Z., & Ahmad, Z. Review on Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation (TENS): Principles and Applications in Rehabilitation // BioMed Research International. – 2020. – Vol. 2020, Article ID 456789.

6. Bluetooth Low Energy Communication. Принципы работы и примеры использования BLE для медицинских устройств. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/technology/bluetooth-low-energy> (дата обращения: 16.11.2024).

7. Electrostimulation and its Applications in Physical Therapy. European Journal of Physiotherapy. – 2019. – Vol. 21, No. 4.

8. App Inventor Documentation. Руководство по созданию мобильных приложений для Android. [Электронный ресурс]. URL: <https://appinventor.mit.edu> (дата обращения: 17.11.2024).

9. Чистов И.А., Власов П.Н. Анализ применения ЭМГ-датчиков для контроля работы мышц // Медицинская техника и технологии. – 2020. – №4. – С. 25–31.

© Путинцев Д.И., 2024

А.И. ТИМЕРБУЛАТОВА, Э.Р. ХАМАТОВА

hamatovael69@yandex.ru, timerbulatova.adelina@list.ru

Науч. руковод. – ст. препод. **Е.В. ЛАРИОНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АВТОНОМНАЯ ПЛОЩАДКА ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: автономная площадка для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) – это небольшой «аэропорт», предназначенный для обслуживания только БПЛА. В статье описывается идея создания автономной площадки для БПЛА, макет площадки, а также используемые в макете устройства для обеспечения работоспособности площадки.

Ключевые слова: автономная площадка; беспилотный летательный аппарат, Arduino.

Введение

Актуальность заключается в том, что использование БПЛА в наше время крайне востребовано. Часто это связано с дальними полетами с большими затратами энергии. Автономная площадка разработана специально для того, чтобы использовать её в различных ситуациях: ремонт (в случае поломки детали, без которой БПЛА не сможет долететь до места назначения), подзарядка (в случае низкого заряда аккумулятора), обогрев (в случае обледенения аккумулятора или пропеллеров).

Для того, чтобы БПЛА (в частности вертолётного типа) удачно взлетел или приземлился нужна ровная, чистая, сухая поверхность, какой обладает площадка.

Также у некоторых БПЛА есть режим «Home», за счет которого они могут возвращаться обратно на точку взлета. Данная площадка может служить такой точкой отправки и возвращения.

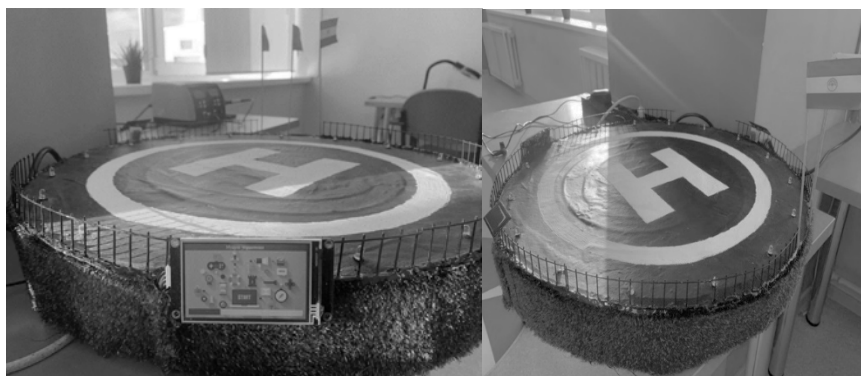
Описание макета площадки

Внешний вид площадки показан на рис. 1.

Автономная площадка устанавливается в труднодоступных местах вблизи небольших населенных пунктов, где возможны сложные климатические условия и непростой рельеф местности.

У площадки есть защита от атмосферных воздействий (снег, лёд) с помощью обогрева, который обеспечивается за счет греющего кабеля, находящегося под площадкой. Энергообеспечение площадки реализуется автоматически за счет солнечной энергии.

В качестве каркаса для макета используется дерево. Боковые поверхности сделаны из пластика. Сверху площадка окрашена в черный цвет, имитирующий асфальт. Снаружи площадка окружена искусственным газоном. Ограждение выполнено из металлической сетки. Макет имеет управление с помощью сенсорного экрана, с помощью которого выполняются включение и выключение подсветки, включение и выключение подогрева площадки, регистрируются показания температуры и влажности.



а *б*
Рис. 1. Внешний вид площадки:
а – вид слева, *б* – вид справа

Устройство площадки

Общая функциональная схема работы автономной площадки представлена на рис. 2.



Рис. 2. Общая функциональная схема работы площадки

Управление реализовано на базе контроллера Arduino Uno.

Arduino Uno (рис. 3, *а*) – это плата микроконтроллера с открытым исходным кодом, основанная на микроконтроллере ATmega328P (MCU). Датчик температуры и влажности DHT22 (рис. 3, *в*) (цифровой модуль

измерения температуры и влажности на основе датчика DHT22) подключаются к Arduino Uno. К данной плате также подключена сенсорная панель Nextion Editor (рис. 4, б), 16 светодиодов (рис. 3, з) и 2 солнечных панели (6 В, 110×60 мм) (рис. 3, д).

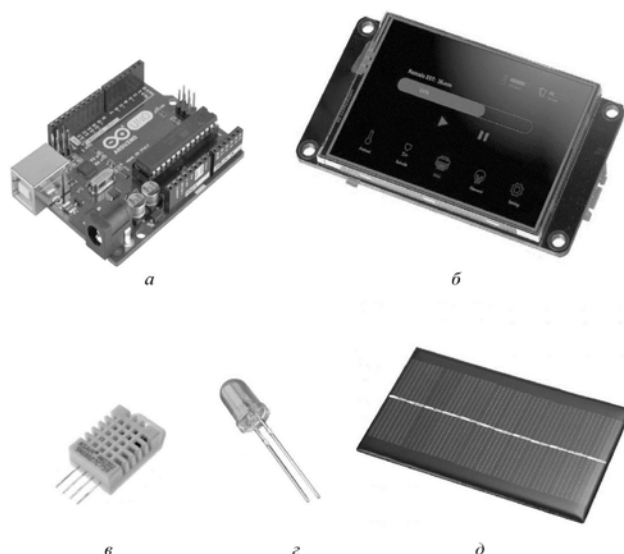


Рис. 3. Устройства и приборы, используемые в макете площадки:
а – плата Arduino Uno, б – сенсорная панель Nextion Editor,
в – датчик температуры и влажности DHT22, з – солнечная панель (6 В),
д – светодиод (5 мм)

Библиографический список

1. Моисеев В.С. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования» (Серия «Современная прикладная математика и информатика»). – 768 с.

2. Михаил Добрунов, Продажи дронов в России выросли в разы [Электронный ресурс] // www.rbc.ru: [сайт]. – URL: <https://www.rbc.ru/business/15/05/2023/6461b0859a794711a455f93e> (дата обращения: 30.05.2024).

3. Махов Л.М. Отопление. Учеб. для вузов: – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014 – 400 с.

4. С. Монк, Програмируем Arduino. Профессиональная работа со скетчами . — СПб.: Питер, 2017.

5. Геннадий Пименов – L-3 CALZONI: Наземные вертолетные площадки. Системы освещения. Каталог 2013. Р.1 [Электронный ресурс] // RadioCom-Review Радиосистемы и оборудование: [сайт].–URL: <https://radiocom-review.blogspot.com/2014/09/l-3-calzoni-2013-1.html> (дата обращения: 30.05.2024).

© Тимербулатова А.И., Хаматова Э.Р., 2024

М.Л. ТИМОШЕНКО

marktimoshenko99@gmail.com

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В УЧЕБНЫХ ДИСЦИПЛИНАХ ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

Аннотация: статья раскрывает современное видение возможностей применения виртуальной реальности (VR) в образовании по электронике, преимуществами и проблемы, которые появляются при ее внедрении. В ней уделяется внимание способам применения данной технологии в процессе обучения студентов.

Ключевые слова: виртуальная реальность (VR); образование; электроника; цифровое обучение; VR-тренажер

Виртуальная реальность (VR) всё чаще используется для обучения электронике, предлагая новые и удобные способы изучения сложных тем. Эта технология делает процесс обучения более эффективным, предоставляя интерактивные симуляции. Такие симуляции позволяют студентам видеть электрические компоненты и схемы в 3D и взаимодействовать с ними [1].

VR помогает лучше понять сложные вещи, так как позволяет не только читать лекции, но и показывать схемы и системы в виде наглядных изображений. Кроме того, в виртуальной реальности можно «потрогать» и изменить эти схемы, чего нельзя сделать при использовании обычных методов. Это делает абстрактные идеи более понятными, превращая их в что-то, что можно увидеть и даже «почувствовать».

Обучение с использованием VR становится более интересным и может подстраиваться под каждого ученика. Это значит, что каждый студент может учиться в своём темпе, что повышает интерес к занятиям и помогает лучше запомнить материал. Ещё один плюс — VR позволяет работать с оборудованием, которое в реальной жизни может быть слишком большим или дорогим для университета. Например, студенты могут изучать работу сложных установок, не имея к ним физического доступа.

Всё это улучшает результаты обучения. Исследования показывают, что использование VR помогает студентам лучше усваивать знания, повышает их мотивацию и облегчает понимание сложных тем. Например, в Колумбийском университете провели исследование, где VR-тренажёры использовались для обучения работе с электрическими цепями постоянного тока. Результаты показали, что студенты, обучавшиеся с помощью VR, справились лучше, чем те, кто учился традиционными способами [2].

Ещё один важный момент — VR помогает студентам морально подготовиться к будущей работе. Благодаря имитации реальных ситуаций, студенты могут тренироваться без страха совершить ошибку, которая могла бы дорого обойтись в реальной жизни. При этом система строго следит за соблюдением техники безопасности: если студент делает что-то опасное, VR предупреждает об этом или заставляет начать задание заново [3].

VR также даёт возможность участвовать в лабораторных работах, даже если студент находится далеко от университета — например, из-за болезни или командировки. Всё, что нужно, — это доступ к VR-оборудованию, например, очкам виртуальной реальности.

Однако стоит отметить, что для некоторых задач VR не нужен. Например, лекции по оформлению документации не требуют использования этой технологии. Но для практических занятий, таких как проектирование схем или поиск неисправностей, VR может стать отличным инструментом. Также виртуальная реальность позволяет создать симуляции электрических подстанций или производственных цехов, что помогает студентам подготовиться к решению реальных задач (рис. 1).



Рис. 1. VR-тренажер по работе с оборудованием

Для определённых областей электротехники, таких как цифровые схемы или автоматизированные системы, можно создать специальные VR-модули. Эти модули могут включать обучающие уроки и тесты, чтобы отслеживать, как студенты продвигаются в обучении.

Виртуальная реальность может быть полезна для работы в команде. С её помощью студенты могут вместе выполнять проекты в виртуальном пространстве, даже если находятся далеко друг от друга. Это помогает развивать важные для инженеров навыки общения и работы в коллективе.

Однако, несмотря на все плюсы использования VR в обучении электронике, есть и трудности. Во-первых, оборудование и программы для виртуальной реальности могут стоить дорого. Хотя сейчас есть более дешёвые варианты с ограниченными возможностями, которые всё же подходят для учебных целей.

Чтобы VR хорошо вписалась в учебный процесс, нужно всё тщательно продумать. Важно создать программы и VR-тренажёры, которые будут соответствовать задачам обучения. Также потребуются подготовить преподавателей. Им нужно научиться правильно использовать VR и включать её в свои занятия, чтобы добиться максимальной пользы.

Но есть и другие проблемы. Например, некоторым студентам трудно привыкнуть к VR. У них могут возникать сложности с управлением в виртуальной среде. Кроме того, длительное использование VR-гарнитур может вызывать дискомфорт: устают глаза, может появиться головокружение или чувство укачивания. Всё это мешает сосредоточиться и снижает эффективность обучения.

В заключение можно сказать, что виртуальная реальность – это современный и интересный способ изучать электронику. Она делает обучение более увлекательным и помогает студентам лучше усваивать материал. С развитием технологий VR станет всё более важным инструментом в образовании, помогая готовить будущих инженеров и специалистов в области электротехники и электроники.

Библиографический список

1. Рахматуллаев, А.Н. Технология виртуальной реальности / А.Н. Рахматуллаев, Рустем Кадырбекулы Иманбек, А.Р. Рахимова. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2021. – № 18 (360). – С. 50–58. – URL: <https://moluch.ru/archive/360/80615/>
2. Сайт «Fab Lab Connect» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.fablabconnect.com/arvr-education/>
3. Сайт «Senseglove» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.senseglove.com/creating-a-haptic-experience-with-vr-gloves/>

© Тимошенко М.Л., 2024

УДК 53.084.6

В.В. ХАЙРУЛЛИН, Д.А. КАШАПОВ

hairullin.vildan-p-112@mail.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.Х. ЯСОВЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СОРТИРОВКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ: СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Аннотация: в статье рассмотрены способы оптического распознавания полимеров в составе твердых бытовых отходов, классификация методов обнаружения, факторы, сдерживающие внедрение технологий переработки отходов.

Ключевые слова: рециклинг; устройства переработки; отдельный сбор отходов; оптические сепараторы; оптические датчики; ИК-датчики; гиперспектральная визуализация; Фурье-спектрометры.

В настоящее время в мире образуется около 3,6-5 млн тонн пластиковых отходов, а переработке подвергается, по разным оценкам 7-20%. Для сортировки отходов наиболее эффективно применяется технология гиперспектрального анализа. Целью работы является оценка оптических методов разделения пластиковых отходов, рассмотрение принципа работы оптических систем.

Принцип действия оптических систем разделения мусора, рассмотрим на принципе мусоросортировочного комплекса в КПО “НЕВА”.

Распределение сырья в общем случае состоит из следующих этапов:

- вскрытие полиэтиленовых пакетов;
- ручная сортировка;
- отделение стекольных изделий;
- выявление наличия металлов;
- отделение форменных изделий;
- распределение пластика оптическим сепаратором;

Рассмотрим классификацию оптических методов сортировки на данном этапе их развития. Для сепарации отходов используются три основных технологии: VIS, Spectral, XRT. Все оптические сепараторы находятся на крайних этапах сортировки ТКО после прохождения основных вышеуказанных способов.

XRT (X-ray transmission пропускание рентгеновского излучения), распознает объекты на линии с помощью рентгеновских лучей. Существуют несколько методов анализа для технологий оптических сепараторов. Основные методы:

Фотоионизация – поглощение рентгеновского кванта при этом выбивается квант электрона в основном уровне.

Флуоресценция – процесс перехода электронов с внешних уровней на внутренние с испусканием квантов рентгеновского диапазона.

Оже-процесс – происходит без излучений, но один электрон переходит из внутренние оболочки атома, а второй переходит на более низкий уровень.

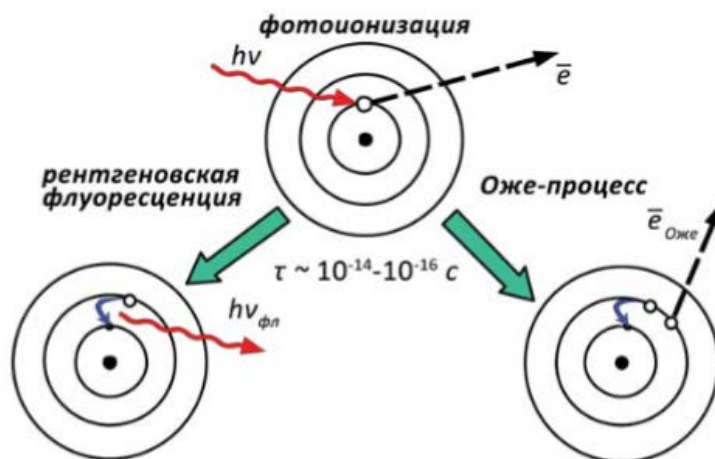


Рис. 1. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

VIS - Visual Identification System система визуальной идентификации, распознает объекты на линии с помощью использования камер с высокоскоростной съемкой с применением искусственного интеллекта. Качество работы зависит от нескольких факторов: частотой кадров съемки, вычислительной мощности системы, предиктивным анализом искусственного интеллекта, автономностью принятых решений ИИ. Практически всегда работает совместно с двумя остальными технологиями.

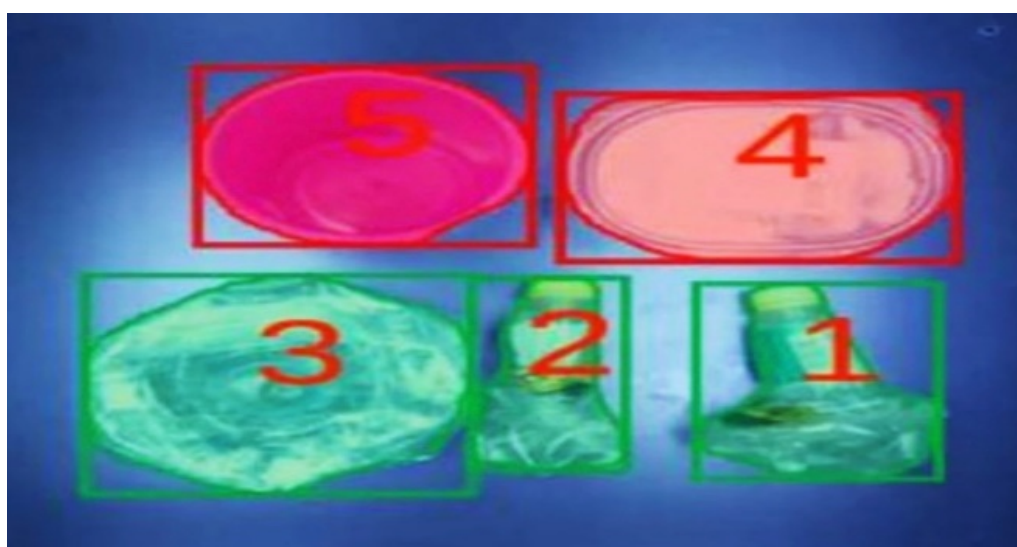


Рис. 2. Пример вида распознавания различных отходов камерой с ИИ

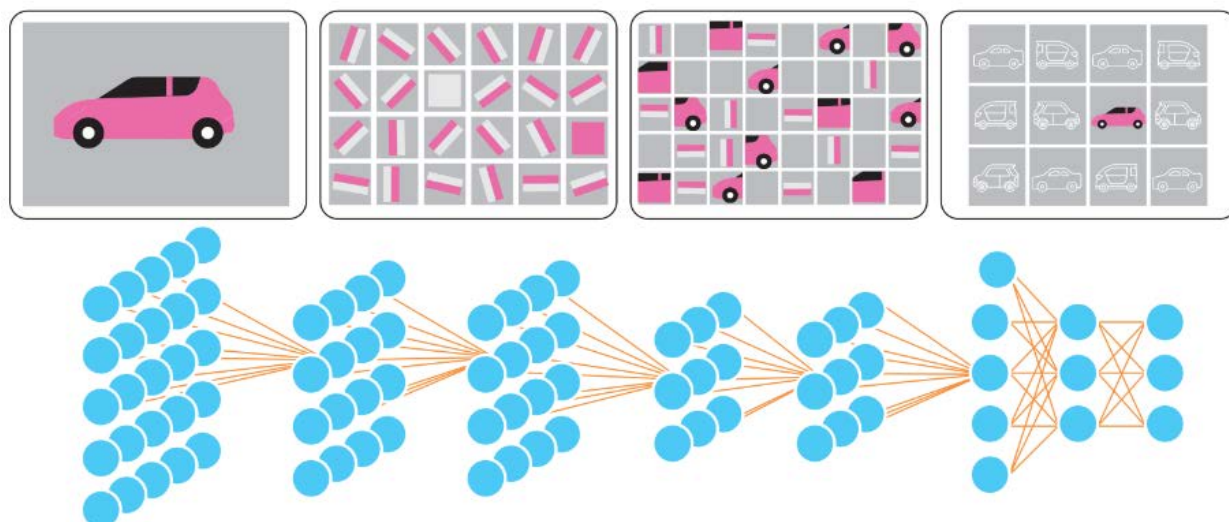


Рис. 3. Схема обучения ИИ на примере отечественной разработки компании Nevlabs сортировщики с данной схемой обучения функционируют на КПО “Восток”, Московская область и КПО “Север”, Сергиев Посад

Технология VIS чаще всего применяют для замены ручной сортировки сложно отделимых отходов в конце цикла сортировки. Также не исключается подключение повторной линии сортировки, поскольку есть вероятность наложение ТКО друг на друга, которая является трудно распознаваемой для ИИ на данный момент.

Spectral – распознает отраженные лучи и анализирует спектры в различных областях, может применять принципы селективной генерации, модуляции, фильтрации. Наиболее эффективной на данный момент развития технологии является гиперспектральные методы распознавания. Рассмотрим различные методы спектральных обнаружений:

АО-спектрометр (акустооптический спектрометр) использует эффект дифракции света на преобразование среды (световых волн) создаваемой акустической волной [3].

Фурье-спектрометр использует для получения оптического спектра интерферометр и математическое Фурье-преобразование исследуемого сигнала, который генерируется матрицей-фотоприемником при отражении на него светового излучения (Рис.4).

Чтобы видеть необходимые отраженные спектры источник излучения должен испускать излучать такие же спектры. В оптических сепараторах используются галогеновые и вольфрам-галогеновые источники излучения.

Для того чтобы различать большую часть синтезированных полимеров, необходимо иметь фотоприемник со спектральным диапазоном (900нм – 2500нм). Эталонные спектры известных на данный момент полимеров приведены в [1].

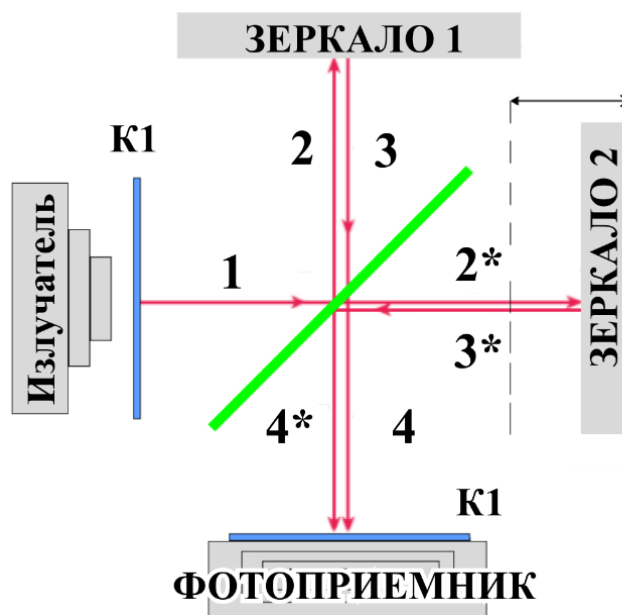


Рис. 4. Интерферометр Майкельсона – основная часть Фурье спектрометра

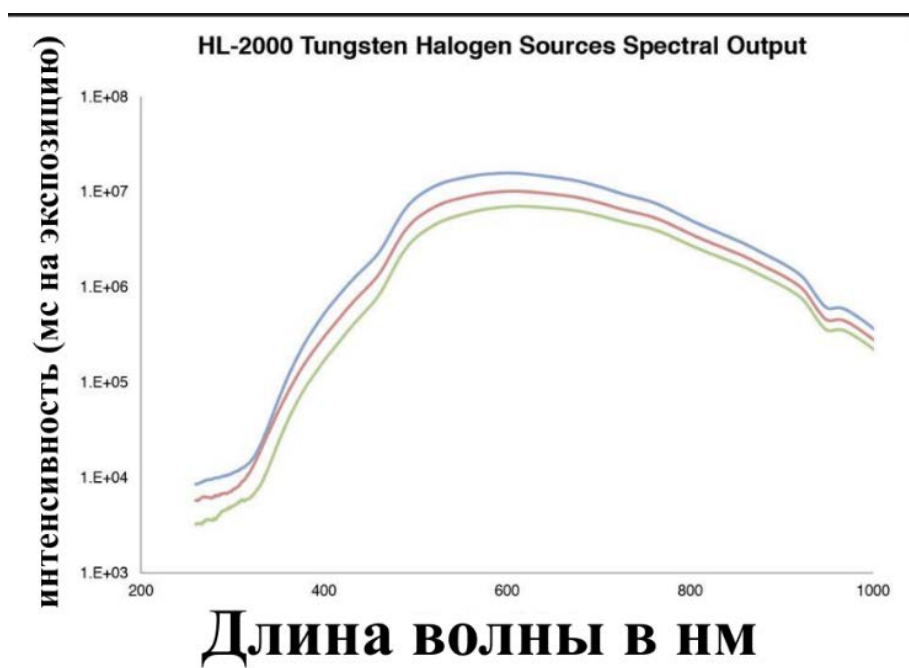


Рис. 5. Спектральный диапазон излучения вольфрам-галогенового источника света HL-2000 (полученный в результате анализа Ocean Optics)

Современные технологии, использующие кремний: ПЗС-матрицы и КМОП-матрицы, дают возможность обработать спектры в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне, от 400 нм до 1100 нм длин волн. Однако для обнаружения видов пластика подающийся вторичной переработки (например полиэтилена, полиэтилентерефталата, полипропилена, полистирола) с помощью метода визуализации отражательной способности требуется спектральный диапазон от 900 до 1700 нм. Такой диапазон обеспечивает технология InGaAs

(соединение из индия-галлия арсенида). На технологии InGaAs разработана камера C14041-10U QVGA.

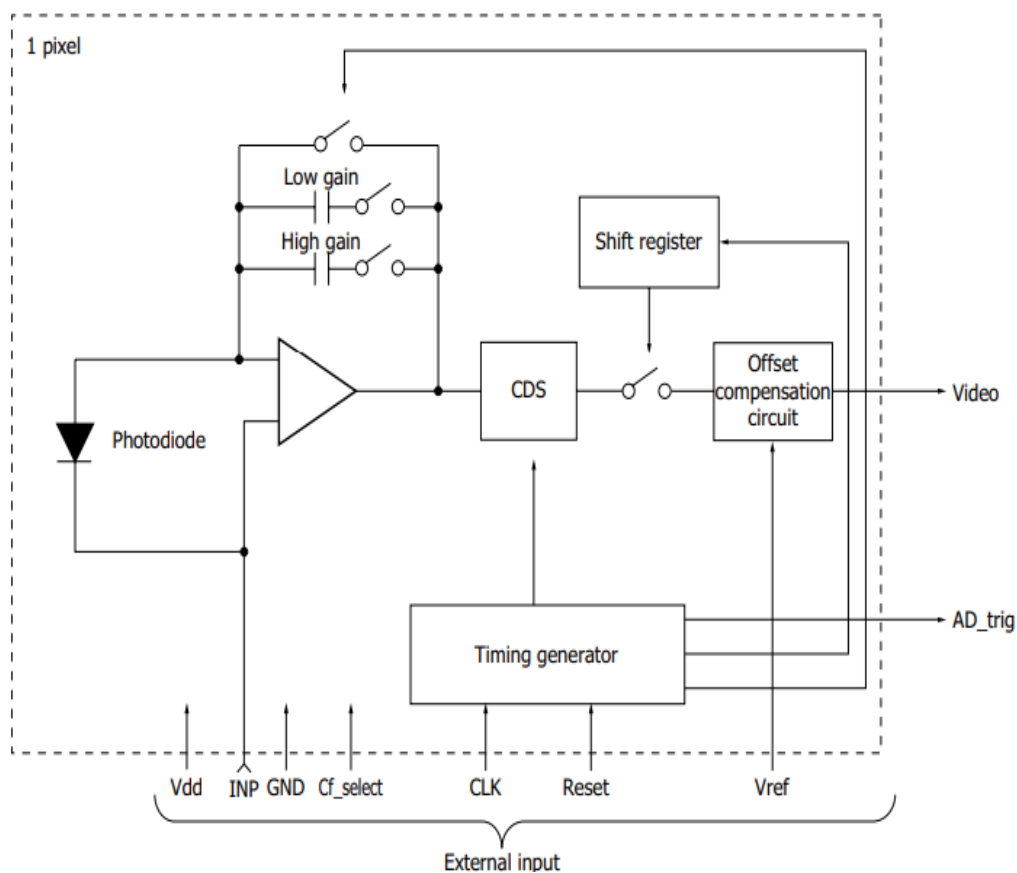


Рис. 6. Эквивалентная схема управления одним пикселем фотоприемника G14741 на технологии со спектральным диапазоном 900-1700нм

Гиперспектральные камеры могут захватывать гиперспектральное видео (рисунок 3d) и быстро и идеально подходят для визуализации движущихся объектов. В условия сортировочного комплекса важна скорость обработки спектров и точность поэтому для передачи данных используется метод ROI region of interest – для анализа пространственного изображения с параллельной структурой столбцов и функцией частичного считывания, который является наиболее выигрышный в параметрах для сортировочного комплекса. Такой метод способствует обработки данных только в той области, где непосредственно находится полимерные отходы, не обращая внимание на конвейерную ленту.

Таким образом, в данной статье рассмотрены оптические способы сортировки пластиковых отходов, классификация методов спектрального и гиперспектрального анализа. Определен спектральный диапазон для сортировки полимерных изделий (900-1700нм). Были выявлены наиболее эффективные технологии оптической сортировки. В частности, проведена оценка методов сортировки полимеров – выделение полиэтилена, полиэтилентерефталата, полипропилена, полистирола.

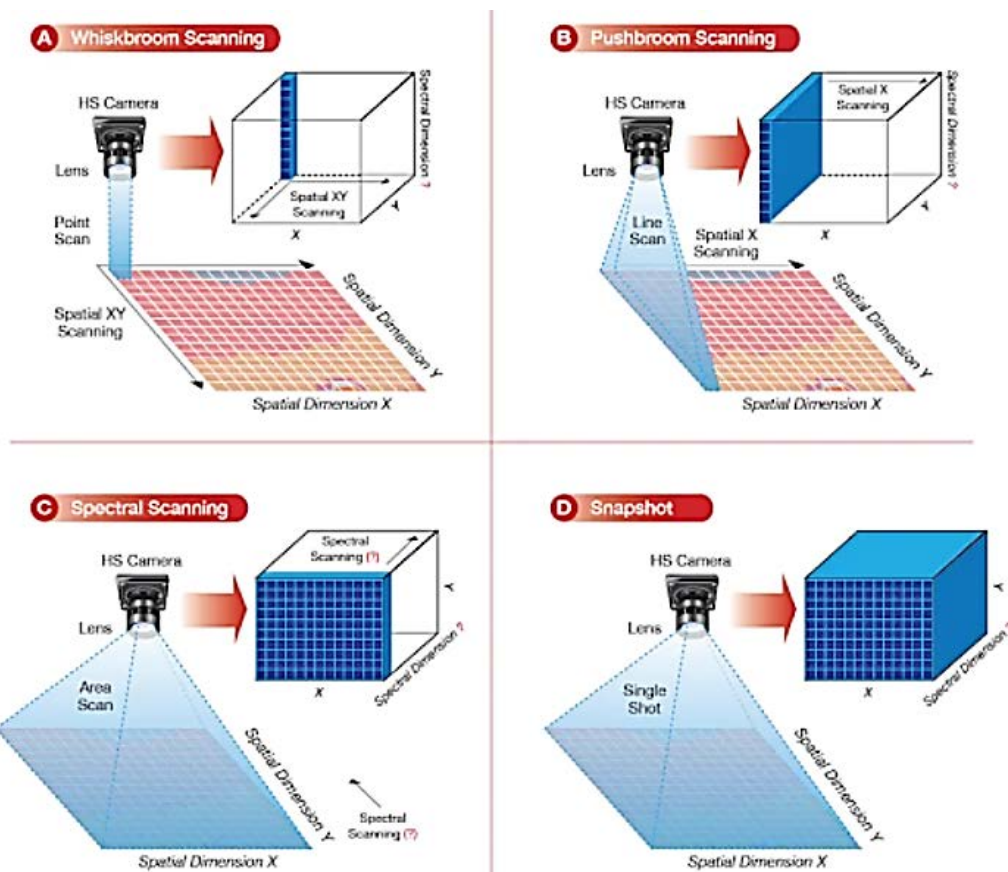


Рис. 7. Типы гиперспектральных камер и методы обработки: whiskbroom (точечное сканирование), камеры pushbroom (линейное сканирование), snapshot (одиночный снимок), whiskbroom захватывают один пиксель за раз

Библиографический список

1. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. М., Физматлит, 2013 - 657 с.
2. Балашов А.А., Вагин В.А., Висковатых А.В., Жижин Г.Н., Пустовойт В.И., Хорохорин А.И. Аналитический Фурье-спектрометр АФ-1 широкого применения, приборы и техника эксперимента, 2003. – 89с.
3. Хюскенс Ю., Клуттиг М. Автоматическая сортировка мусора Инновации в теории и практике обращения с отходами: презентационные материалы международной науч.-практ. конф., Пермь, 5–6 ноября 2009 г.
4. Мартынов Г.Н. Пространственно-спектральные функции пропускания акустооптических фильтров в задачах гиперспектральной съемки, 2022- 102с.
5. Белл Р.Дж. Введение в Фурье-спектроскопию: пер. с англ. М.: Мир, 1975 - 380 с.

© Хайруллин В.В, Кашапов Д.А., 2024

УДК 620.165.29

Г.И. ХАФИЗОВ

dmitrieva@uust.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **О.А. ДМИТРИЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАССОМЕРОВ В ПРОГРАММЕ PLL SVP ДЛЯ НАСТРОЙКИ БЛОКА ФАЗОВОЙ АУТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ

Аннотация: программа PLL SVP является удобным «ассистентом» эксплуатационного персонала при необходимости настройки блока фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) для интерполяции импульсов при использовании компакт-прувера для поверки. В статье описаны результаты работы по расширению функционала программы для работы с кориолисовыми массомерами.

Ключевые слова: компакт-прувер; ФАПЧ; программа PLL SVP, кориолисовый массомер.

Компакт-пруверы (КП) в последние годы завоевали определенный объем рынка в области рабочих эталонов расхода жидкости, прежде всего, в нефтегазовой отрасли. Несмотря на свою высокую стоимость, КП пользуются спросом, поскольку обладают хорошими массо-габаритными показателями и эксплуатационными характеристиками.

Но при проведении процедуры контроля метрологических характеристик (КМХ) преобразователя расхода (ПР) по КП неизбежно возникает проблема интерполяции импульсов электрического выходного сигнала расходомера. Потребность в этом появляется, поскольку калиброванный объем компакт-прувера мал, что ведет к малому количеству накопленных вычислителем за время КМХ импульсов. Это, в свою очередь, приводит к низкой разрешающей способности и невыполнению требования нормативных документов о разрешающей способности в 0,01% при такой процедуре [1].

Ситуацию может исправить применение одного из регламентированных стандартом ISO методов интерполяции импульсов. Помимо тайминг-методов (двойной и четверной хронометрии) существует метод, связанный с применением фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ), так и называемый – метод «Phase-locked loop» (PLL) или метод ФАПЧ [2].

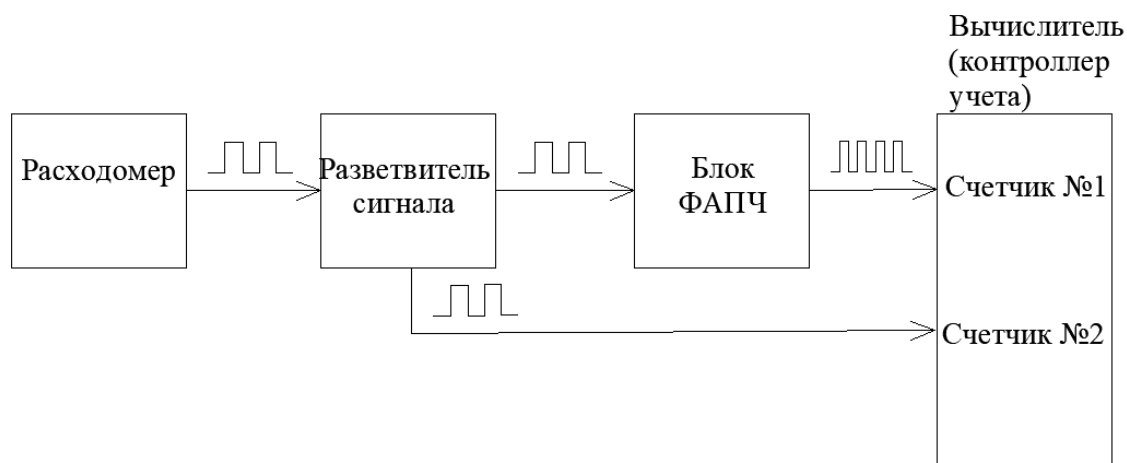


Рис. 1. Структурная схема системы обработки информации с использованием блока ФАПЧ (фрагмент)

Фрагмент системы обработки информации (СОИ) при использовании аппаратного блока ФАПЧ приведен на рис. 1. При проведении КМХ вычислитель считает импульсы с ПР посредством счетчика № 1. Задача блока ФАПЧ заключается в выработке импульсного сигнала, кратно большего по частоте выходного сигнала ПР и синхронизированного с ним. Но недостаток данного метода заключается в следующем. Значение коэффициента умножения частоты R не может быть однозначным и стандартным, оно задается, исходя из конкретных параметров измерительной системы. Это требует настройки блока ФАПЧ [3].

Программа PLL SVP (Phase-locked loop for small volume prover – Расчет ФАПЧ для компакт-прувера), написанная руководителем темы, предназначена для автоматического определения допустимых коэффициентов умножения частоты сигнала расходомера модулем ФАПЧ при проведении КМХ по компакт-пруверу при заданном пользователем значении расхода. Также программа позволяет находить все допустимые значения расхода при каждом значении коэффициента умножения модуля ФАПЧ в заданном пользователем диапазоне коэффициентов. Программа позволяет задавать конфигурацию компакт-прувера, расходомера и другие параметры с помощью текстовых файлов. Результат вычислений выводится на экран (через консоль), а также в виде текстового файла с отчетом [4].

Целью описываемой научно-технической работы являлось расширение функционала данной программы для обеспечения возможности использования при расчете расходомеров-массомеров. Массомеры на кориолисовом принципе измерения являются одними из самых высокоточных промышленных поточных средств измерения расхода, поэтому, несмотря на высокую стоимость, все чаще применяются в составе измерительных линий систем измерения количества жидкости. В качестве включаемых в состав программы линеек продукции были выбраны отечественные серии: Эмис-масс 260, Метран-360М, Измеркон СМ470 и Элметро-Фломак.

Для выполнения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Разработка конфигурационного файла для каждого типоразмера каждой модели массомера. Типовой файл имел расширение «.txt» и следующую структуру:

M:M Emis-mass 260 Coriolis Mass Flowmeter DN10 FRd6 ;наименование модели, принцип расходомера, типоразмер (диаметр условного прохода), исполнение. Обозначение «M:M» необходимо программе для переключения алгоритма на режим массомера

;Impulse weight, kg/pulse ;цена выходного электрического импульса расходомера, кг/импульс

0.0001

;Qmaxfm, kg/h ;верхний предел диапазона измерения массового расхода, кг/ч

800

;Qminfm, kg/h ;нижний предел диапазона измерения массового расхода, кг/ч

90

;Здесь приводится прямая ссылка на доступный в сети каталог/руководство по эксплуатации

;Accuracy, % ;погрешность измерения (класс точности)

0.2

2. Определение недостающих параметров массомера. В качестве погрешности в конфигурационных файлах указывалось минимальное для данного типоразмера и исполнения (из указанных производителем) значение δ в %, либо значение, для которого определена стабильность нуля ZS в кг/ч. При необходимости, пользователь программы может скорректировать данное значение (как и все другие параметры) по выполненному производителем заказу.

У всех массомеров в документации производителя указан верхний предел диапазона измерения, но не у всех указан нижний. Данное значение не равно нулю, так как существует понятие переходного расхода – значения в нижней части диапазона, ниже которого происходит увеличение погрешности выше нормированного значения. Для расчета нижнего предела использовалась формула $Q_{\min fm} = ZS \cdot 100 / \delta$.

При отсутствии указаний производителя цена импульса рассчитывалась как $Q_{\max fm} / f_{\max}$, где f_{\max} – общепринятая в промышленности максимальная частота импульсного измерительного канала 10 000 имп/с. Для минимальных значений округление производилось на уровне 6-7 знака после запятой.

3. Корректировка алгоритма программы. Так как калиброванный объем КП выражается в м³, необходимо преобразование величины, измеряемой массомером в кг/ч. Многие массомеры имеют возможность отображения выходного значения в объемных единицах, м³/ч, но, поскольку учет нефти ведется вычислителем (контроллером) в единицах массы (тоннах), а прямым методом массомер измеряет именно массовый расход, является обоснованным

избегание двойного пересчета. Для сопоставления показаний КП и массового ПР в программе используется однократный пересчет расхода путем деления значений пределов диапазона массомера на значение плотности, указанное в основном конфигурационном файле программы «Configuration.txt». Плотность может измеряться как самим массомером и передаваться по дополнительному измерительному каналу, либо сторонним плотномером, расположенным в блоке качества.

В программе PLL SVP в качестве коэффициента преобразования расходомера используется K-фактор. Для пересчета цены импульса по массе в K-фактор использовалась формула $K = \rho/m$, где m – цена импульса в кг/имп., ρ – плотность в кг/м³, а K – K-фактор в имп/м³.

После анализа отчета эксплуатационный персонал системы измерения может, руководствуясь результатами расчета, выбрать, а затем вручную или автоматизированно (по интерфейсу) «выставить» требуемый коэффициент на блоке ФАПЧ.

Выводы. В ходе описанной научно-технической работы:

- разработаны конфигурационные файлы для всех типоразмеров четырех линеек отечественных кориолисовых массомеров;
- при формировании конфигурационных файлов определены и рассчитаны недостающие для работы программы параметры массомеров;
- скорректирован алгоритм работы программы PLL SVP для работы с массомерами.

Библиографический список

1. Дмитриев, О.А. Применение четверной хронометрии для контроля метрологических характеристик расходомеров с использованием компакт-прувера // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2018. – №8. – С. 15-18.

2. ISO 7278-3:1998. Liquid hydrocarbons – Dynamic measurement – Proving systems for volumetric meters – Part 3: Pulse interpolation techniques. – 1998. – 12 p.

3. Дмитриев, О.А. Применение фазовой автоподстройки частоты для увеличения разрешающей способности при контроле метрологических характеристик по компакт-пруверу // Автоматизация и информатизация ТЭК – 2023. – № 8(589). – С. 10-14.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024668034. PLL SVP (Расчет ФАПЧ для компакт-прувера) / О.А. Дмитриев – Заявка № 2024666641. Дата поступления 18 июля 2024 г. Зарегистрировано в ФИПС 1 августа 2024 г.

© Хафизов Г.И., 2024

УДК 004.9:37

С.А.ЧЕРДЫНЦЕВА

G0d_Loki@mail.ru

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **В.С. ФЕТИСОВ**

Уфимский университет науки и технологий

КОНЦЕПЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ «ИСПЫТАНИЕ ТЯГИ ВИНТОМОТОРНЫХ ГРУПП»

Аннотация: в данной статье описывается реализация лабораторной работы в среде виртуальной реальности, приводятся аргументы в пользу актуальности подобных технологий и их практическое применение.

Ключевые слова: виртуальная реальность; тяга; винтомоторная группа; лабораторная работа; среда VR.

Введение

Виртуальная реальность (VR) – искусственным образом воссозданная с помощью компьютерных технологий симуляция реальности. В последние годы технологии такого рода набирают все большую популярность, поскольку позволяют воссоздавать эксперименты без необходимого оборудования или потерь, что снижает траты на обучение и понижает порог вхождения [1].

Была поставлена задача разработать лабораторную работу в среде VR для обучения студентов по учебным направлениям «двигатели летательных аппаратов». В связи с этим был создан концепт лабораторной работы на основе инструментов движка Unity.

Данная лабораторная работа позволит студентам не только углубить свои знания в области аэродинамики и двигателестроения, но и развить навыки работы с современными технологиями виртуальной реальности. Практический формат позволит в последствии углубиться в дальнейшее изучение более сложных систем управления беспилотными аппаратами и их эксплуатации в реальных условиях.

Лабораторная работа предназначена для студентов учебных заведений, изучающих аэродинамику и двигателестроение. В данной работе используются инструменты виртуальной реальности. В качестве окружения используется среда, реализованная на игровом движке Unity с применением шлемов типа Oculus. Таким образом, все вышеперечисленное позволяет реализовать близкое к практическому обучение в формате виртуальной реальности с использованием минимального набора инструментов.

Цели лабораторной работы заключаются в том, чтобы ознакомить студентов с принципами работы двигателей беспилотных аппаратов, научить студентов проводить испытания винтомоторных групп, а также развить навыки для работы с технологиями виртуальной реальности. При выполнении

лабораторной работы студенты в виртуальной лаборатории должны выбрать оптимальные комбинации двигателей и воздушных винтов, а затем выполнить измерения тяги для разных частот вращения. В результате работы фиксируются параметры тока и напряжения, а также строятся графики зависимости тяги от мощности и частоты вращения [2].

Структура лабораторной работы

В процессе работы студентам необходимо осуществить подбор комбинаций - они должны выбрать подходящие комбинации двигателей и винтов. Подбор осуществляется на основе теоретических знаний и заданных характеристик.

После этого проводятся испытания, в ходе которых студенты устанавливают выбранные модели на виртуальный стенд. Испытания проводятся на различных частотах вращения, полученные показания для силы тока и напряжения источника питания фиксируются в таблице. В качестве вспомогательных средств студенты могут использовать виртуальные инструменты для измерения параметров (вольтметр, амперметр, и т.д.).

Заключительным этапом лабораторной работы является анализ полученных данных, на основе которых производится построение графиков зависимостей тяги от мощности и тяги от оборотов. Полученные результаты обсуждаются после завершения практической части работы.

Полезность данной лабораторной работы заключается в том, что она позволит студентам не только углубить свои знания в областях, связанных с двигателями и летательными аппаратами, но и развить навыки работы с современными технологиями посредством изучения виртуальной среды. Это создаст основу для дальнейшего исследования более сложных систем управления беспилотными аппаратами и их эксплуатации в реальных условиях. Лабораторные работы, разработанные в таком формате, также позволяют сократить затраты на оборудование, необходимое для реализации экспериментов такого рода. Необходимость в каком-либо оборудовании, кроме оборудования для виртуальной реальности отпадает, поскольку все остальное уже реализовано внутри виртуальной среды.

Лабораторная работа с точки зрения разработчика

При разработке лабораторной работы вначале подбирались обучающие материалы для введения студентов в теорию, которые включают в себя разъяснение принципа работы электродвигателей беспилотных аппаратов, перечисление и объяснение основных параметров, влияющих на тягу винтомоторной группы – потребляемой мощности, частоты вращения, характеристик двигателей и винтов.

Далее производится создание виртуальной среды, разработка 3D-моделей двигателей (электрических и геометрических) и воздушных винтов (на начальном этапе было выбрано по пять моделей двигателей и винтов). Параллельно с реализацией графической части осуществляется

программирование математических моделей двигателей и винтов таким образом, чтобы их характеристики были максимально приближены к реальным параметрам.

В качестве программного обеспечения для разработки был использован игровой движок Unity [3]. В нем осуществляется реализация интерактивного интерфейса (комнаты с установками, где студенты могут выбирать модели и устанавливать их на испытательный стенд, все необходимые инструменты для измерения параметров, а также другие задействованные модели). Далее производится интеграция технологий виртуальной реальности (систем захвата, управления, трекинга) к реализованной в игровом движке среде.

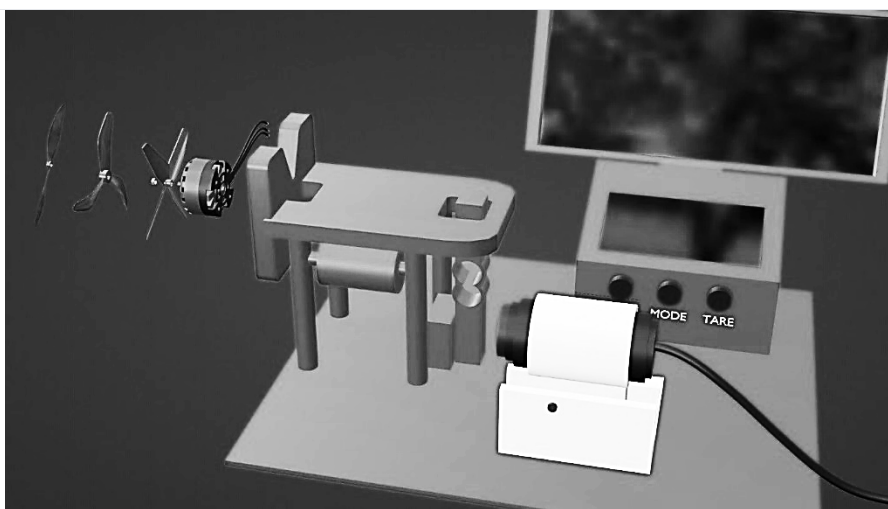


Рис. 1. Схема установки с измерителем тяги датчиком частоты вращения и дисплеем

Заключение

Актуальность данной лабораторной работы заключается в обучении через практику, что позволяет студентам наилучшим образом осуществить практическую работу без существенных затрат на реальные образцы. Виртуальная реальность предоставляет возможность создания интерактивной учебной среды, где студенты могут, опираясь на теорию, экспериментировать с образцами в искусственной среде. Такой вид практики экономит ресурсы и способствует эффективному обучению.

Библиографический список

1. Сидоров, И.П. Виртуальная реальность в образовании: возможности и перспективы / И.П. Сидоров. – Москва: Издательство МГУ, 2022. – 180 с.
2. Петров, А.Н. Основы аэродинамики и двигателестроения / А.Н. Петров – Санкт-петербург: Политехника, 2021. – 220 с.
3. Unity Technologies. Unity User Manual (2023). – [Электронный ресурс]. – <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>

© Чердынцева С.А., 2024

УДК 622.244.6:681.518.54

А.Е. ШАРИПОВ

arsenyarseny36728@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Т.Р. САЛАХОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПУЛЬСАТОРА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

Аннотация: представлен режим работы гидравлического пульсатора телеметрической системы, его функциональная составляющая, проведены испытания на динамометрическом стенде.

Ключевые слова: гидравлический канал связи; бурение; динамометрический стенд; гидравлический стенд; телеметрическая система.

В настоящее время для оперативного контроля направления бурения скважины с целью управления и исследований нефтегазовых скважин при использовании гидравлического канала связи для передачи информации часто используют универсальные телеметрические системы. Телеметрической системой также обеспечиваются измерения естественной радиоактивности горных пород, коэффициента водонасыщенной пористости пластов и удельного электрического сопротивления среды [1].

Каждая подобная телесистема включает в себя модуль, называемый модулем пульсатора. На рис.1 представлен пример такого модуля.



Рис. 1. Модуль пульсатора

Модуль пульсатора (МП) предназначен для работы в процессе бурения скважины в составе забойной телеметрической системы с гидравлическим каналом связи, установленной в колонне бурильных труб. Модуль обеспечивает сбор, кодирование, хранение и передачу данных (по гидравлическому каналу связи) модулей забойной телесистемы в процессе бурения нефтяных и газовых скважин.

Данный модуль включает в себя:

- блок электроники;
- блок привода клапана;
- межблочный соединитель;

- межмодульный соединитель.

Блок электроники управляет работой блока привода клапана, обеспечивает обмен данными и управляющими командами со всеми измерительными модулями телесистемы по CAN-интерфейсу.

Блок привода клапана служит для передачи вращательного движения от электродвигателя, находящегося в герметичном "сухом" кожухе, на устройство создания гидравлических импульсов давления, находящегося в потоке жидкости в буровой трубе.

Модуль должен работать в двух основных режимах: статический замер (статика) и режим циркуляции (бурение). После включения циркуляции бурового раствора, модуль должен передавать вверх по гидравлическому каналу связи данные статического замера и после этого переходить в режим непрерывной передачи данных бурения. Данные статического замера и данные в режиме бурения задаются оператором перед началом работы.

В процессе работы модуль должен выполнять такие функции как:

- регистрация данные модулей телесистемы, хранение данных в энергозависимой памяти модуля, кодирование и передача данных по гидроканалу;

- контроль над состояниями и режимами работы модулей телесистемы;
- управление и контроль за работой электродвигателя;
- детектирование наличия циркуляции буровой жидкости при помощи датчика давления и управление режимами работы телесистемы при включении-выключении циркуляции буровой жидкости;
- измерение уровня вибрации по трем ортогональным осям;
- измерение технологических параметров (напряжение питания, ток потребления, состояние памяти) модуля.

Модуль пульсатора должен быть термо-, вибро- и ударопрочным, должен сохранять прочность и герметичность.

Каждый модуль проходит проверку работоспособности на динамометрическом стенде, который имитирует нагрузку в скважине. Стенд для испытаний на динамические нагрузки включает в себя блок управления валом, электромагнит и вал. Стенд меняет нагрузку на вал в зависимости от углового положения ротора, тем самым имитируя сопротивления раствора - чем больше перекрывается клапан, тем сильнее препятствует раствор. Согласно закону Бернулли, в момент полного закрытия клапана, возникает зона разряжения и клапан «проваливается» дальше по направлению, по причине резкого падения сопротивления, при условии сохранения усилия работы мотора. С помощью монитора самого стенда производится выбор нагрузки. Стенд имеет 5 режимов работы, каждый из них соответствует разному значению нагрузки, создаваемому на валу электродвигателя. При увеличении нагрузки, электромагнит сильнее прижимается к валу, что затрудняет ход клапана электродвигателя. Допустимыми значениями нагрузки принято считать от 0 Н*м до 30 Н*м. На основе данных испытаний, производится мониторинг характеристик и контроль работоспособности оборудования.

Основными контролируемыми параметрами модуля при таком виде проверки являются: количество пройденных оборотов, время вращения электродвигателя и его средний потребляемый ток. В таблице 1 представлены максимальные допустимые значения вышеупомянутых параметров при различных режимах, полученные экспериментально во время проведения тестирования нескольких модулей.

Таблица 1

Максимальные допустимые значения параметров электродвигателя во время тестирования

	Ре жим 1 (0 Н*м)	Ре жим 2 (2 Н*м)	Ре жим 3 (4 Н*м)	Ре жим 4 (10 Н*м)	Реж им 5 (30 Н*м)
Средний ток потребления (в мА)	54 0-670	57 0-700	63 0-740	70 0-850	110 0-1390
Количество пройденных оборотов	15 8-160	15 8-159	15 7-159	15 5-157	143- 150
Время вращения эл. двигателя (в мс)	32 0-340	32 0-340	32 0-350	32 0-350	340- 390

Таким образом, с помощью стенда для испытаний на динамические нагрузки были получены экспериментальные данные работы электродвигателя гидравлического пульсатора телеметрической системы в процессе бурения.

Библиографический список

1. Телеметрическая система Vector LWD [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bngf.ru/services/382/?ysclid=m3tvsuj97c959638234> (дата обращения 17.10.2024).

© Шарипов А.Е., 2024

Р.В. ШУМАТБАЕВ

shumatbaevrazil@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.Л. ТИМОФЕЕВ**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ КОДИРОВАНИЯ В РАДИОСВЯЗИ: ГОЛОГРАФИЧЕСКОЕ КОДИРОВАНИЕ

Аннотация: в данной статье представлен обзор методов кодирования, применяемых в современных системах радиосвязи, с особым акцентом на голографическое кодирование как перспективное направление повышения помехоустойчивости и надежности передачи данных. Рассмотрены основные методы кодирования, их принципы работы, преимущества и области применения.

Ключевые слова: методы кодирования; радиосвязь; помехоустойчивость; голографическое кодирование; перспективные технологии радиосвязи.

Кодирование играет важнейшую роль в современных системах радиосвязи, обеспечивая надежную передачу информации в условиях помех и искажений сигнала. Целью данного доклада является обзор основных методов кодирования, применяемых в радиосвязи, и анализ их эффективности.

Кодирование - это процесс преобразования информации с целью повышения надежности ее передачи по каналу связи. Эффективность кодирования оценивается по таким критериям, как помехоустойчивость, энергетический выигрыш и спектральная эффективность. Методы кодирования можно разделить на блочные, сверточные, турбо-коды и низкоплотностные коды.

Блочные коды работают с фиксированными блоками данных, добавляя к ним проверочные символы. Исходное сообщение разбивается на блоки длиной k символов, которые затем кодируются в блоки длиной n символов ($n > k$). Разность $(n - k)$ определяет количество добавленных проверочных символов. Можно выделить следующие блочные коды:

1. Коды Хемминга: используют матрицу проверок на четность для обнаружения и исправления одиночных ошибок.

2. Коды Рида-Соломона: работают в полях Галуа и способны исправлять множественные ошибки и стирания символов.

3. Коды Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ): циклические коды, использующие полиномиальную арифметику для обнаружения и исправления ошибок.

Блочные коды широко применяются в системах радиосвязи, включая сотовые сети, спутниковую связь и системы хранения данных.

Сверточные коды используют память предыдущих символов для формирования проверочных символов. Кодер состоит из сдвигового регистра и сумматоров по модулю 2, которые генерируют выходные символы на основе текущего и предыдущих входных символов. Сверточные коды характеризуются параметрами:

1. Длина кодового ограничения: определяет количество предыдущих символов, влияющих на текущий выходной символ.
2. Скорость кода: отношение числа входных символов к числу выходных символов.
3. Порождающие полиномы: определяют структуру сверточного кодера.

Для декодирования сверточных кодов часто применяются алгоритмы Витерби и максимума апостериорной вероятности (MAP). Сверточные коды используются в сотовых сетях (например, GSM, CDMA), спутниковой связи и других системах радиосвязи.

Турбо-коды состоят из двух или более параллельно соединенных сверточных кодеров и декодеров, работающих итеративно. Ключевыми компонентами турбо-кодов являются:

1. Параллельное соединение сверточных кодеров.
2. Перемежитель: переставляет символы между кодерами для улучшения характеристик кода.
3. Итеративный алгоритм декодирования: декодеры обмениваются информацией, постепенно улучшая оценки переданных символов. Для турбо-кодов характерны:

1. Высокая эффективность исправления ошибок при относительно простой реализации.
2. Производительность, близкая к теоретическому пределу Шеннона.
3. Возможность адаптации к различным требованиям по скорости и помехоустойчивости.

Турбо-коды нашли применение в системах сотовой связи 3G и 4G, спутниковом телевидении, глубоком космосе и других областях радиосвязи, где требуется высокая надежность передачи данных.

LDPC-коды основаны на разреженных проверочных матрицах и используют итеративные алгоритмы декодирования. Они демонстрируют отличную производительность, близкую к теоретическому пределу Шеннона. LDPC коды применяются в Wi-Fi, WiMAX, DVB-S2.

Для повышения спектральной эффективности используются методы совместного кодирования и модуляции, такие как TCM и VTCM. TCM комбинирует кодирование и модуляцию для получения кодированных последовательностей с большим евклидовым расстоянием. VTCM использует битовое перемежение между кодером и модулятором. Оба метода нашли применение в высокоскоростных радиосистемах.

Блочные, сверточные, турбо и LDPC-коды обеспечивают надежную передачу данных в условиях помех, а методы совместного кодирования и модуляции позволяют повысить спектральную эффективность.

Перспективы развития имеет метод голографического кодирования.

Голографическое кодирование – это метод, основанный на принципах голографии. В отличие от традиционных методов, использующих временную или частотную избыточность, голографическое кодирование вводит пространственную избыточность.

Принцип работы голографического кодирования заключается в создании голограммы сигнала, которая содержит не только информацию о самом сигнале, но и о его пространственном распределении. При передаче голограмма подвергается воздействию помех, но на приемной стороне исходный сигнал может быть восстановлен даже при наличии искажений, благодаря избыточности, заложенной в голограмме. Для голографического кодирования характерны:

1. Высокая помехоустойчивость: даже при значительных искажениях голограммы возможно восстановление исходного сигнала.

2. Возможность восстановления сигнала при частичном разрушении голограммы.

3. Потенциал для увеличения емкости канала связи за счет мультиплексирования голограмм.

Однако имеются следующие проблемы:

1. Высокая вычислительная сложность создания и обработки голограмм.

2. Необходимость большой полосы пропускания для передачи голограмм.

3. Чувствительность к нелинейным искажениям канала связи.

Голографическое кодирование находится на стадии активных исследований и имеет потенциал для применения в системах радиосвязи будущего, особенно в сочетании с технологиями массивного ММО и терагерцового диапазона частот.

В данной статье был проведен обзор современных методов кодирования, применяемых в радиосвязи, с акцентом на перспективное направление – голографическое кодирование. Традиционные методы, такие как блочные, сверточные и турбо-коды, уже зарекомендовали себя как эффективные инструменты повышения помехоустойчивости и надежности передачи данных. Однако постоянно растущие требования к качеству и скорости беспроводной связи стимулируют поиск новых подходов к кодированию.

Голографическое кодирование представляет собой многообещающую альтернативу классическим методам, основанную на принципах голографии. Введение пространственной избыточности сигнала позволяет достичь высокой помехоустойчивости и возможности восстановления данных даже при значительных искажениях. Кроме того, голографическое кодирование открывает новые возможности, такие как распределенное хранение информации и мультиплексирование сигналов.

Несмотря на имеющиеся преимущества, голографическое кодирование сталкивается с рядом проблем, включая высокую вычислительную сложность, увеличение требуемой полосы пропускания и чувствительность к нелинейным искажениям. Дальнейшие исследования должны быть направлены на

преодоление этих ограничений и оптимизацию методов голографического кодирования.

В будущем интеграция голографического кодирования с другими перспективными технологиями, такими как массивное ММО и терагерцовый диапазон частот, может привести к созданию высокоэффективных и надежных систем радиосвязи нового поколения. Однако для реализации этого потенциала необходимы совместные усилия исследователей, инженеров и производителей телекоммуникационного оборудования.

В целом, голографическое кодирование представляет собой перспективное направление развития методов кодирования в радиосвязи, которое может существенно повысить качество и надежность беспроводной передачи данных. Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут способствовать удовлетворению растущих потребностей в высокоскоростной и безотказной связи в современном мире.

Библиографический список

1. Как работают алгоритмы кодирования в радиосвязи.

URL:<https://thecode.media/fm-code/#:~:text=В%20радиотехнике%20цифровое%20кодирование%20называют,приёмник%20сразу%20мог%20их%20обработать.&text=Принципиально%20это%20не%20отличается%20от,если%20напряжение%20есть%20С%20это%20единица>. (дата обращения 12.11.2024).

2. Канальное кодирование. URL:

<https://www.sagatelecom.ru/encyclopedia/archive/kanalnoe-kodirovanie/>
(дата обращения 01.03.2022).

3. Построение помехоустойчивого кода на базе голографического представления произвольной цифровой информации. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/postroenie-pomehoustoychivogo-koda-na-baze-golograficheskogo-predstavleniya-proizvolnoy-tsifrovoy-informatsii>
(дата обращения 01.03.2022).

4. Реализация устойчивой абсолютной фазовой модуляции с помощью голографического кодирования. URL: <http://jre.cplire.ru/jre/jul24/4/text.pdf> (дата обращения 01.03.2022).

© Шуматбаев Р.В., 2024

СЕКЦИЯ 3.2. БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 618.29

А.П. АДУШЕВА

na_sivai@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. кафедры БМИ **Н.С. ИВАНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ЭЛЕКТРОННЫЙ ДОПЛЕРОВСКИЙ ФЕТАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ В АКУШЕРСТВЕ

Аннотация: в тексте описывается использование электронного доплеровского фетального мониторинга с использованием ультразвуковых датчиков в акушерстве. Ультразвуковой фетальный мониторинг в акушерстве позволяет получить записи частоты сердечных сокращений плода с целью диагностики состояния плода и своевременного вмешательства.

Ключевые слова: электронный доплеровский фетальный мониторинг, плод, сердце, ЧСС.

Электронный доплеровский фетальный мониторинг — это один из наиболее важных и широко используемых методов оценки состояния плода в акушерстве. Метод позволяет акушерам и врачам получать важные данные о частоте сердечных сокращений (ЧСС) плода и его реакции на различные внешние факторы, что критически важно для обеспечения безопасности как матери, так и ребенка. [4]

Принцип работы рассматриваемого метода основан на эффекте Доплера. От ультразвукового датчика исходят волны и отражаются от движущихся объектов. Датчик улавливает отраженные волны с измененной частотой и определяет изменения частоты звуковых волн в зависимости от скорости движения объекта. [2]

Для подготовки к обследованию женщина располагается в удобной позе, обычно на спине или на боку. На живот накладывается ультразвуковой датчик, который фиксируется на специализированный гель для улучшения проводимости звука.

Далее происходит запись данных. Датчик генерирует ультразвуковые волны, которые, проходя через ткани, достигают сердца плода и отражаются. Ультразвуковые волны изменяют свою частоту в зависимости от скорости движения сердца. Датчик улавливает отраженные волны и анализирует их частоту. Сравнивая исходную частоту с полученной, устройство определяет, насколько изменился сигнал.

На основе анализа изменений частоты происходит расчет ЧСС плода. Если сердце плода бьется быстрее, частота отраженных волн будет выше, и

наоборот. На экране монитора отображаются графики ЧСС плода в реальном времени, что позволяет врачам отслеживать изменения в частоте и ритмичности сердечного ритма плода и выявлять возможные отклонения.

С помощью электронного доплеровского мониторинга плода можно обнаружить различные проблемы и отклонения в развитии плода, включая:

1. Гипоксия плода – это состояние, при котором плод испытывает недостаток кислорода, что может привести к серьезным последствиям не только для его здоровья, но и для здоровья матери. Определить гипоксию можно по изменению ЧСС, например, если наблюдается замедление сердцебиения.

2. Аритмии: брадикардия (замедление ЧСС) или тахикардия (учащение ЧСС). Эти состояния могут указывать на наличие проблем с сердечно-сосудистой системой плода или на воздействие внешних факторов, таких как стресс или инфекция со стороны материнского организма.

3. Стресс плода – реакция плода на внешние факторы, такие как сокращения матки во время родов. Изменения в ЧСС могут свидетельствовать о том, что плод испытывает стресс.

4. Долгосрочный мониторинг состояния плода может помочь выявить аномалии в его развитии, такие как пороки сердца или другие структурные аномалии сердца и сосудистой системы.

5. Нарушения в функционировании плаценты, например, недостаточное кровоснабжение, приводят к изменениям в ЧСС, что позволяет обнаружить опасность и подобрать лечение.

6. Изменения в ЧСС могут указывать на начальные признаки родовой активности и преждевременные роды, что поможет заблаговременно оценить ситуацию и безопасно разрешить роды.

Электронный доплеровский фетальный мониторинг является неинвазивным методом, и позволяет проводить длительный непрерывный мониторинг состояния плода, что особенно важно в процессе родов. Это дает возможность своевременно реагировать на изменения в состоянии плода. Фетальные мониторы широко доступны и могут использоваться как в стационарных, так и в амбулаторных условиях. Современные устройства представляются так же в портативной форме, что позволяет акушерам проводить мониторинг в условиях, отличных от стационарных. [1]

Однако фетальные мониторы имеют ограничения в условиях применения. Мониторинг может быть менее эффективным при избыточном количестве амниотической жидкости, аномальной позиции плода и ограниченной проницаемостью тканей матери в связи с ожирением. В ходе исследования могут возникнуть неточность в результатах и артефакты в сигнале из-за активных движений матери и плода во время исследования, неправильного или не плотного размещения датчиков также от интерференции от других звуков (например, кишечные шумы матери). [3] Также неправильная интерпретация полученных данных медицинским персоналом может привести к ложным

выводам о состоянии плода, поэтому необходимы высокая квалификация и опыт врачей.

Развитие технологий мониторинга беременности постоянно развиваются. Новые устройства становятся более чувствительными и точными, что позволяет улучшить качество диагностики. Разработка технологий для дистанционного мониторинга и портативных фетальных мониторов дают возможность для женщин с высоким риском осложнений проводить регулярные исследования в домашних условиях, а врачам отслеживать состояние плода удаленно.

Электронный доплеровский фетальный мониторинг может использоваться в сочетании с другими методами мониторинга, такими как кардиотокография (КТГ) и ультразвуковое исследование, что позволяет получить более полную картину состояния плода. Также внедрение алгоритмов искусственного интеллекта для анализа данных ЧСС плода может повысить точность диагностики и помочь врачам в интерпретации результатов. [1]

Электронный доплеровский фетальный мониторинг является важным инструментом в современном акушерстве, позволяющим эффективно оценивать состояние плода и выявлять возможные патологии. Его применение способствует повышению безопасности как для матери, так и для ребенка, а также позволяет своевременно реагировать на возникающие проблемы. С развитием технологий появляется возможность улучшения устройств, в которых используется электронный доплеровский фетальный мониторинг. Это позволит врачам принимать более обоснованные решения и обеспечивать лучшую медицинскую помощь.

Библиографический список

1. Основы доплеровского мониторинга во время беременности: [Электронный ресурс] // «МСЧ № 3». Режим доступа: <https://medbalt.ru/osnovy-dopplerovskogo-monitoringa-vo-vremya-beremennosti/> (Дата обращения 19.11.2024).

2. Раздел #8 ЧАСТНЫЕ ВОПРОСЫ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ: [Электронный ресурс] // «Rentgen.info». Режим доступа: https://rentgen.info/razdel-8_chastnye-voprosy-luchevoy-diagnostiki/ (Дата обращения 19.11.2024).

3. Фетальные мониторы и критерии анализа состояния плода. Кардиотокография: [Электронный ресурс] // «РУС-ЭКСП». Режим доступа: <https://rus-exp.com/education/articles/CTG-monitoring.php> (Дата обращения 19.11.2024).

4. Электронный доплеровский фетальный мониторинг и непрямая ЭКГ плода в современном акушерстве [Электронный ресурс] // «НАУЧНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ». Режим доступа: <https://rrmedicine.ru/journal/article/3078/> (Дата обращения 19.11.2024).

© Адушева А.П., 2024

Б.И. АХМАДИЕВ

bulatachmadiev@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **К.Р. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРЕБЫВАНИЯ ИНОРОДНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРЕДМЕТОВ В ГЛАЗАХ НА ЗРЕНИЕ

Аннотация: в данной статье рассмотрены последствия пребывания инородных металлических предметов в глазах, а также современные методы диагностики и лечения.

Ключевые слова: инородные металлические предметы, методы диагностики, глаза.

Инородные металлические тела, попадающие в глаз, представляют серьезную угрозу для здоровья органа зрения. Они могут вызвать воспалительные процессы, повредить ткани глаза и привести к осложнениям, таким как эндофтальмит, перфорация роговицы, токсическое воздействие на сетчатку, а в некоторых случаях — к полной потере зрения [1]. Особенно опасно длительное пребывание металлического инородного тела в глазу, так как коррозия может вызвать дополнительное токсическое воздействие на глазные структуры.

Современные статистические данные показывают, что травмы глаз с попаданием инородных металлических частиц являются одной из распространенных причин обращения в офтальмологические отделения [2]. Большинство случаев связаны с производственными травмами, когда защитные меры не были достаточными или вовсе отсутствовали. Таким образом, своевременная диагностика и лечение становятся не только вопросом сохранения зрения, но и важной частью профилактических мероприятий на уровне общественного здравоохранения. Это подчеркивает актуальность исследования данной проблемы и анализа существующих методов диагностики и терапии.

При попадании металлического предмета в глаз происходит его взаимодействие с глазной жидкостью (слезной жидкостью, внутриглазной влагой). Этот процесс часто приводит к химической коррозии металла, особенно если объект изготовлен из материалов, подверженных окислению (например, железо, медь, алюминий).

Внутриглазная жидкость содержит воду, электролиты и органические вещества, создавая среду, способствующую электрохимической коррозии металлов. При попадании металлического инородного тела в глаз начинается его окисление под воздействием компонентов внутриглазной жидкости. Этот

процесс приводит к образованию оксидов и ионов металла, которые могут распространяться по тканям глаза. Образующиеся оксиды и ионы металлов обладают высокой реакционной способностью и могут взаимодействовать с белками, липидами и другими компонентами тканей глаза. Это взаимодействие приводит к следующим последствиям:

1. Токсическое воздействие: Продукты коррозии металлов, такие как ионы железа или меди, обладают цитотоксичностью, вызывая повреждение клеток и тканей глаза. Например, сидероз – токсическое поражение тканей глаза продуктами окисления железа — может привести к дегенеративным изменениям сетчатки и другим осложнениям

2. Воспалительные реакции: Присутствие продуктов коррозии стимулирует воспалительные процессы, что может привести к развитию кератита, конъюнктивита и других воспалительных заболеваний глаза.

3. Дегенеративные изменения: Длительное воздействие коррозионных продуктов может вызвать структурные изменения в тканях глаза, включая помутнение роговицы, повреждение хрусталика и сетчатки, что негативно сказывается на зрении.

Диагностика инородных металлических предметов в глазах является критически важной для предотвращения осложнений и сохранения зрения пациента. Для этого используются различные методы визуализации и радиологические исследования.

Биомикроскопия: этот метод, также известный как исследование с помощью щелевой лампы, позволяет детально осмотреть передний сегмент глаза, включая роговицу, переднюю камеру, радужку и хрусталик. Биомикроскопия помогает выявить поверхностно расположенные инородные тела и оценить степень повреждения тканей.

Офтальмоскопия: Используется для осмотра глазного дна, включая сетчатку, сосудистую оболочку и зрительный нерв. Этот метод позволяет обнаружить инородные тела, проникшие в задний сегмент глаза, и оценить их влияние на внутренние структуры.

Ультразвуковое исследование (УЗИ): Применяется для визуализации структур глаза, особенно когда оптические среды непрозрачны, например, при кровоизлияниях или помутнении хрусталика. УЗИ эффективно выявляет инородные тела в стекловидном теле и заднем сегменте глаза, определяя их размер, форму и точное расположение.

Рентгенография: Этот метод позволяет обнаружить рентгеноконтрастные инородные тела, такие как металлические фрагменты, особенно если они находятся в орбите или глубоко в структурах глаза. Рентгенография в двух проекциях помогает определить точное расположение и размеры инородного тела

Компьютерная томография (КТ): КТ обеспечивает высокую разрешающую способность и позволяет получать послойные изображения глаза и орбиты. Этот метод особенно полезен для выявления мелких инородных тел и оценки степени повреждения окружающих тканей. КТ также помогает

планировать хирургическое удаление инородных предметов. Длительное пребывание инородных металлических предметов в глазах представляет серьёзную угрозу для здоровья органов зрения. Химическая активность металлов в условиях глазной жидкости приводит к развитию коррозии и образованию токсичных продуктов окисления, что вызывает воспалительные процессы, повреждение тканей и ухудшение зрительных функций. Отсутствие своевременной диагностики и лечения таких состояний может привести к тяжёлым осложнениям, включая потерю зрения.

В таблице 1 представлена сводная таблица методов диагностики.

Таблица 1

Сводная таблица методов

№	Метод диагностики	Описание метода	Особенности	Применение	Преимущества	Пример оборудования
1	Биомикроскопия	Позволяет осмотреть передний сегмент глаза, включая роговицу, переднюю камеру, радужку и хрусталик. Выявляет поверхностные инородные тела и оценивает степень повреждения	Хорошо подходит для поверхностных инородных тел.	Эффективен только для металлических предметов	Высокая детализация переднего сегмента, неинвазивность.	Щелевая лампа Haag-Streit BQ 900
2	Офтальмоскопия	Используется для осмотра глазного дна, включая сетчатку, сосудистую оболочку и зрительный нерв. Обнаруживает инородные тела в заднем сегменте глаза.	Эффективен для заднего сегмента	Излучение	Оценка глубоких структур глаза, подходит для диагностики заднего сегмента.	Офтальмоскоп Welch Allyn PanOptic
3	Ультразвуковое исследование (УЗИ)	Применяется для визуализации структур глаза при непрозрачности оптических сред. Эффективно выявляет инородные тела в стекловидном теле и заднем сегменте.	Используется при кровоизлияниях и помутнениях хрусталика.	Ограниченное разрешение для мелких деталей	Эффективность при кровоизлияниях и помутнении оптических сред, неинвазивность.	УЗИ-сканер Compact Touch от Quantel
4	Рентгенография	Обнаруживает рентгеноконтрастные инородные тела, такие как металлические фрагменты. Определяет их точное расположение и размеры в двух проекциях.	Подходит для рентгеноконтрастных инородных	Тяжело получить изображение при значительных помутнениях (например, при катаракте)	Простота использования, высокая доступность метода.	Цифровой рентгеновский аппарат Siemens

5	Компьютерная томография (КТ)	Обеспечивает высокую разрешающую способность и послойные изображения. Выявляет мелкие инородные тела и оценивает повреждение	Обеспечивает детальное изображение и помогает в планировании и хирургии.	Детальное изображение глаза и орбиты для выявления мелких тел и оценки повреждений.	Высокая разрешающая способность, послойное изображение для сложных случаев	КТ-сканер Philips Ingenuity Core
---	------------------------------	--	--	---	--	----------------------------------

Таким образом, современные методы диагностики, такие как биомикроскопия, ультразвуковое исследование, рентгенография и КТ, позволяют своевременно выявлять инородные металлические тела и определять степень их воздействия на ткани глаза. Разработка и внедрение высокоточных приборов для обнаружения и безопасного удаления металлических объектов являются важным направлением в офтальмологии, способствующим минимизации рисков и улучшению исходов лечения.

Библиографический список

1. Инородное тело роговицы [Электронный ресурс] <https://diseases.medelement.com//disease/инородное-тело-роговицы-кр-рф-2021/17136> (дата обращения 17. 11. 2024).
2. Особенности эпидемиологии заболеваемости и инвалидности в связи с болезнями органов зрения в России и за рубежом [Электронный ресурс] https://naukamolod.rzgm.ru/uploads/art/art490_d5c3c4.pdf (дата обращения: 17.11.2024).
3. Металлоз глаза [Электронный ресурс] <https://www.krasotaimedicina.ru/diseases/ophthalmology/ocular-metallosis> (дата обращения: 17.11.2024).
4. Биомикроскопия глаза [Электронный ресурс] <https://xn----7sbcchk1bvhidejz5c4i.xn--plai/info/interesnoe/biomikroskopiya-glaza> (дата обращения: 18.11.2024).
5. Дамбите, Г.Р. Металлоз глаза и его лечение/ Г.Р. Дамбите. – М.: Медицина, 1971. –196 с.
6. Бант Дж. Т. Травма глаза. – М.: Практическая офтальмология, 2023. – 256 с.
7. Чутко, М.Б. Осколки стекла и камня в глазу / М.Б. Чутко. - М.: Медгиз,1961. – 152 с.
8. Травмы глаза – симптомы и лечение [Электронный ресурс] <https://dgp1nn.ru/blog/travma-glaza> (дата обращения: 18.11.2024).

© Ахмадиев Б.И., 2024

УДК 796.03

Д.Ш. БАГАУТДИНОВА

bagautdinova.diana2014@gmail.com

Науч. руковод. – канд.техн. наук., доцент **Ю.О. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ РАСЧЕТА И АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация: в статье рассматриваются специализированные программные обеспечения для расчета и анализа показателей физического здоровья человека. Их преимущества, недостатки и существующие альтернативы.

Ключевые слова: специализированное программное обеспечение, физическое здоровье, оценка показателей физического здоровья.

В современном мире здоровье человека становится всё более ценным ресурсом, требующим внимания и заботы. С развитием технологий и доступности информации о здоровом образе жизни, люди стали более осознанно подходить к своему физическому состоянию. Одним из наиболее популярных методов исследования здоровья является регулярный мониторинг физических показателей. Существуют специальные показатели оценки физического здоровья. К таким показателям относятся антропометрические (соматометрические) и показатели функционального состояния.

Антропометрические показатели включают в себя длину тела (рост), массу тела, окружность грудной клетки, конечностей, ширины плечевого и тазового пояса [7].

Методика базируется на визуальном обследовании и проведении измерений, известных как соматометрия. Исследование проводится с использованием электронного ростомера, сегментного динамометра, ленточного измерителя окружности, медицинских весов с точностью до сотых грамма, позволяющих определить массу тела. Обработка данных выполняется с использованием норм и стандартов в соответствии с возрастными нормами рекомендации ВОЗ. Выявление отклонений от референтных значений позволяет идентифицировать заболевания и оценить факторы риска. Полученные результаты используются для профилактики заболеваний и составления индивидуальных программ тренировок для спортсменов с учетом их профессиональной деятельности [6].

Показатели функционального состояния изучают функции организма и включают в себя жизненную емкость легких, величину артериального давления (АД), пробу Руфье, пробу Штанге и др. [7].

Жизненная емкость лёгких (ЖЕЛ) представляет собой количественный параметр, позволяющий оценить функциональное состояние дыхательной системы. У здоровых людей этот показатель обычно находится в диапазоне от 3 до 4 литров, у лиц, активно занимающихся спортом ЖЕЛ может достигать 5-7 литров. Для измерения жизненной ёмкости лёгких применяются различные типы спирометров [6].

Функциональная проба Руфье представляет собой метод определения физической работоспособности человека, основанный на измерении частоты пульса в различные периоды восстановления после выполнения небольшой физической нагрузки. Этот метод является косвенным и наиболее простым способом оценки физической работоспособности. Он позволяет оценить реакцию организма на нагрузку и скорость его восстановления после неё [6].

Проба Штанге представляет собой метод оценки функционирования дыхательной системы и сердечной деятельности, а также способности организма адаптироваться к условиям гипоксии. Суть процедуры заключается в выполнении глубокого вдоха, последующего выдоха и повторном вдохе, который не должен быть полным. Длительность задержки дыхания позволяет оценить эффективность работы дыхательной системы и сердца, а также их способность обеспечивать организм кислородом в условиях его недостатка [6].

Антропометрические показатели и показатели функционального состояния являются важной информацией для оценки физического здоровья. Однако их ручное вычисление может быть затруднительным и трудоёмким процессом. В связи с этим возникает необходимость в применении специализированных программных решений, которые способны автоматизировать процесс расчёта и анализа показателей физического здоровья.

Применение специализированного программного обеспечения предполагает ряд преимуществ для расчета показателей физического здоровья.

Во-первых, оно позволяет обеспечить всестороннюю оценку состояния здоровья, путем анализа множества показателей функционального состояния организма [3]. Во-вторых, такое обеспечение позволяет снизить временные затраты благодаря автоматизации процесса обработки данных [2].

Кроме того, специализированное программное обеспечение открывает возможности для прогнозирования: при многократных исследованиях оно может предоставить заключение о возможных будущих изменениях и предложить рекомендации для определенного студента [8].

Далее рассмотрим существующие аналоги такого программного обеспечения.

1. Программа «Оценка физического состояния и здоровья», разработанная на базе Полесского государственного университета.

Компьютерная программа реализует комплексный диагностический подход и включает в себя шесть разделов, предназначенных для оценки физического состояния студентов. Эти разделы включают в себя: общие сведения обследуемого, морфологические показатели, признаки

дизэмбриогенеза, показатели функционального состояния, показатели физической подготовленности, показатели краткого опросника ВОЗ [1].

Функциональные возможности [1]:

- Автоматический расчет исследуемых показателей

Программа производит расчёт антропометрических и морфофункциональных параметров, а также показателей физической подготовленности. Кроме того, она анализирует данные, касающиеся физического и психологического благополучия.

- Автоматическое получение заключения по введенным данным

По полученной информации программа автоматически формирует заключение о физическом здоровье студента, указывая на возможные отклонения от нормы и давая рекомендации по улучшению здоровья

- Получение анализа показателей физического здоровья студента

Программа предоставляет сравнительный анализ показателей физического здоровья студента в виде инфографики, демонстрирующей изменения в динамике, а также формирует наглядный отчет, который можно использовать для анализа и планирования дальнейших действий.

- Экспорт всей информации в Excel

Благодаря широкому спектру возможностей компьютерная программа для оценки физического здоровья студентов является полезным инструментом. Она позволяет быстро и эффективно проводить оценку физического здоровья студентов, получать наглядные отчеты и рекомендации по улучшению здоровья.

2. Компьютерная программа «Health correction», разработанная на базе кафедры теории и методики физической культуры УО «ГГУ им. Ф. Скорины» [5].

Health correction – это комплексная программа, направленная на улучшение физического и психического здоровья студентов.

Программа позволяет:

- Фиксировать показатели физического развития студентов в единой базе данных;

- Автоматически рассчитывать показатели мониторинга физического и психофизиологического состояния;

- Оценивать функциональное состояние и физическую подготовленность студентов с помощью проб Штанге, Генчи, показателей ЧСС, артериального давления, ЖЕЛ и др.;

- Интерпретировать данные, а также обеспечивать обратную связь и корректировать образовательный процесс.

Таким образом, программа «Health correction» представляет собой полезный инструмент для образовательных учреждений. Она позволяет контролировать физическое и психофизиологическое состояние студентов, корректировать и индивидуализировать физическое воспитание. Программа

может помочь оптимизировать процессы обучения, а также повысить физическую подготовку.

3. Компьютерная программа «Monitoring Studio» [4].

Программа «Monitoring Studio» представляет собой комплексный инструмент, предназначенный для всесторонней оценки физического состояния студентов. Она включает в себя три основных аспекта: физическое развитие, функциональное состояние и физическая подготовленность. Кроме того, программа обладает рядом дополнительных функций, которые позволяют более глубоко и детально исследовать физическое состояние студентов:

- **Формирование базы данных**

Программа позволяет вносить данные о росте, весе, ЖЕЛ и других показателях физического здоровья студентов, а также хранить эту информацию длительное время.

- **Автоматизация статистической обработки и вычисления показателей**

Программа может автоматически рассчитывать различные показатели физического здоровья на основе собранных данных.

- **Построение рейтинга студентов по оценке параметров физического здоровья**

На основе вычисленных показателей система формирует рейтинг по уровню физического здоровья, что может помочь в выявлении студентов, которые нуждаются в дополнительной корректировке физической развития.

- **Интерпретация данных и формирование заключения.**

Благодаря своим функциям компьютерная программа «Monitoring Studio» позволяет автоматизировать процесс расчета показателей и обнаружить студентов, которые нуждаются в улучшении физического состояния.

4. Программа для ЭВМ «Комплексная оценка физического развития методом процентильных шкал», разработанная на базе Башкирского государственного медицинского университета [9].

Программа создана для оценки и контроля динамики изменения физических показателей школьников. «Комплексная оценка физического развития методом процентильных шкал» обеспечивает выполнение следующих функций:

- **Сравнение стандартных антропометрических показателей с полученными данными;**

- **Определение промежутков между центильными вероятностями по росту, массе и др., а также интерпретация результатов;**

- **Экспортирование информации в стороннюю программу;**

- **Предоставление заключения в бумажном виде.**

Проанализировав существующие специализированные программные обеспечения, можно сделать вывод о том, что они обладают как преимуществами, так и недостатками. К преимуществам вышеперечисленных компьютерных приложений можно отнести автоматизацию и широкий спектр

параметров для расчета, персонализацию исследований, а также функцию экспорта данных на сторонние приложения. К недочетам существующих систем можно отнести сложный для понимания и использования интерфейс, который перегружен большим объемом функций, длительный период времени, который необходим для изучения приложений, а также отсутствие конфиденциальности при составлении рейтингов.

Таким образом, специализированные программные обеспечения для расчета и анализа показателей физического здоровья являются удобным инструментом для автоматизации и ускорения процесса контроля за состоянием студентов. Они обеспечивают сбор данных, хранение и анализ, что может быть полезно в стационарных и домашних условиях. Внедрение такой системы может способствовать выявлению заболеваний на ранних стадиях, а также стимулировать студентов к более осознанному отношению к своему здоровью.

Библиографический список

1. Булыга В.В., Шебеко Л.Л. Автоматизированная оценка физического состояния и здоровья студенческой молодежи // Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук. 2022. №1.
2. Булыга, В.В. Эффективность применения комплексной методики диагностики с использованием программного обеспечения «Оценка физического состояния и здоровья» / В.В. Булыга, Л.Л. Шебеко // Весці БДПУ. Серія 3. Фізика. Матэматыка. Інфарматыка. Біялогія. Геаграфія. – 2024. – № 1
3. Гавриков К.В., Мандриков В.Б., Шкляр А.Л. Технология автоматизированной оценки динамики физического и функционального состояния организма человека // ВНМТ. 2006. № 4.
4. Осипенко Е.В., Макеева В.С., Пушкина В.Н. Мониторинг физического состояния школьников и студентов: учеб. пособие / Е.В. Осипенко, В.С. Макеева, В.Н. Пушкина. – Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – М.: РадиоСофт, 2016. – 315 с.
5. Осипенко Евгений Владиславович Использование компьютерной программы «Health correction» в процессе физического воспитания школьников и студентов // Наука-2020. 2016. №5 (11).
6. Самоконтроль и оценка физического здоровья студенческой молодежи: учебно-методическое пособие // И.Н. Сырова, Л.И. Серазетдинова, Р.Ф. Волкова, С.Ф. Усманова. – Казань: Казанский университет, 2023. – 89 с.
7. Физическое развитие детей и подростков. Показатели. Методы оценки: учебное пособие / Р.С. Мануева ; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра общей гигиены. – Иркутск: ИГМУ, 2018. – 52 с
8. Шкляр А.Л. Автоматизированная система в контроле динамики физического развития // Современные наукоемкие технологии. – 2006. – № 6.

9. Ялаева Э.Т., Зулькарнаева А.Т., Зулькарнаев Т.Р. Оценка физического развития школьников с применением компьютерной программы // ЗНиСО. 2015. №10 (271).

© Багаутдинова Д.Ш., 2024

УДК 338.24

Д.В. ГАЙСИНА

gajsinadeana@gmail.com

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **К.Р. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МЕДИЦИНСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Аннотация: в представленной статье описывается внедрение концепции «Бережливого производства» в медицинских организациях, также рассматриваются элементы концепции «Бережливой поликлиники», программы, помогающие в моделировании и оптимизации процессов.

Ключевые слова: бережливое производство, Бережливая поликлиника, программы Инталев: Корпоративный редактор и AniLogic.

Абсолютно каждый человек регулярно или периодически посещает медицинские организации (МО). Это неотъемлемая часть жизни, так как собственное здоровье очень важно для людей. С самого раннего возраста ребенок посещает медицинские осмотры, которые выявляют врожденные дефекты и признаки заболевания, оценивают общее физическое и психометрическое состояние ребенка, дают рекомендации по его уходу и воспитанию и медицинскому лечению. По мере взросления каждый год человек проходит все всевозможные медицинские осмотры, сдачи анализов, медицинские процедуры, которые влияют на его состояние физического и психологического здоровья. Абсолютно любой человек хочет быть здоровым, именно поэтому медицинские организации являются главной необходимостью и приоритетом. Однако из-за большого спроса пользоваться услугами МО иногда бывает сложно и неудобно, поэтому эту проблему сейчас активно решают внедрением концепции Бережливое производство.

Каждый человек, входя в МО, сталкивался с рядом некоторых неудобств такие, как очереди к стойке регистрации или к кабинету врача, неправильная логистика МО, нефункциональное распределения рабочего пространства. Все это приводило к потере времени или же ухудшению настроения, или получению неверного курса лечения. Чтобы решить данную проблему вводят концепцию «Бережливая поликлиника», которая в свою очередь берет начало с концепции «Бережливое производство», главная суть

которого заключается в том, чтобы оптимизировать все производственные процессы и услуги медицинской организации.

Бережливая поликлиника – это концепция управления и организации работы медицинских учреждений, направленная на повышение эффективности их деятельности за счет устранения потерь времени и ресурсов, а также улучшения качества обслуживания пациентов. Она построена на основе концепции «Бережливого производства» и включает в себя множество принципов, которые помогают улучшать работу в медицинских организациях.

Основные цели концепции «Бережливая поликлиника»:

- Оптимизация процессов медицинского учреждения;
- Значительное снижение времени, проведенного в поликлинике;
- Повышения уровня доступности и качества медицинских услуг и качества медицинской помощи;
- Правильное распределения пациентов по их заболеваемостям;
- Улучшение условия труда медицинского персонала;
- Вовлеченность персонала в рабочий процесс.

Бережливое производство (lean manufacturing) – концепция управления производственным процессом, которая помогает снизить затраты, повысить качество и удовлетворить потребности клиентов. Этот метод основан на постоянные совершенствования рабочих процессов, устранения потерь и создания лучшего качества. Концепцию можно применить в различных сферах деятельности, например, в нашем случае медицинских учреждениях. Многие принципы «Бережливого производства» включены в концепцию «Бережливой поликлиники».

Основные принципы бережливой поликлиники:

- Оптимизация процессов (улучшение рабочих процессов для сокращения времени ожидания пациентами);
- Удобство для пациентов (создание комфортных условий пребывания в поликлинике, включая удобные маршруты движения внутри учреждения, понятную навигацию и минимизацию очередей);
- Вовлечение персонала (активное участие сотрудников в улучшении работы поликлиники через предложения по оптимизации процессов и внедрение новых идей);
- Использование современных технологий (внедрение информационных систем для автоматизации различных процессов (электронные медицинские карты, запись к врачу онлайн и т.д.);
- Контроль качества (постоянный мониторинг и оценка результатов работы с целью выявления и устранения недостатков).

На данный момент для решения многих проблем, связанных с моделированием, проверкой информации можно решить в программах отечественный, также зарубежных, которые имеют лицензию. Например, отечественные представители такой программы является AnyLogic, также довольно популярна Инталев: Корпоративный навигатор и др.

AniLogic-это программа для имитационного моделирования, которая помогает обеспечивать эффективность работы всех процессов и уменьшать риски в работе.

В работе программа не такая сложная, как может показаться на первый взгляд. С помощью нее можно представить модели в пространстве двухмерном и трехмерном, что в разы облегчает работу моделирования и расположения некоторых объектов. Например, модели учреждения трехмерном и двухмерном пространстве представлены на рисунке 1 и 2.

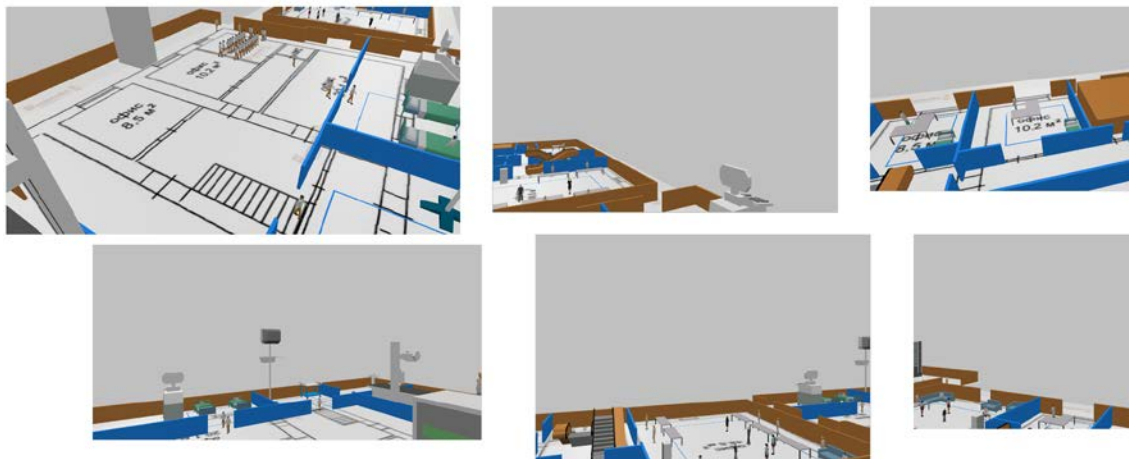


Рис. 1. Модель учреждения в трехмерном пространстве

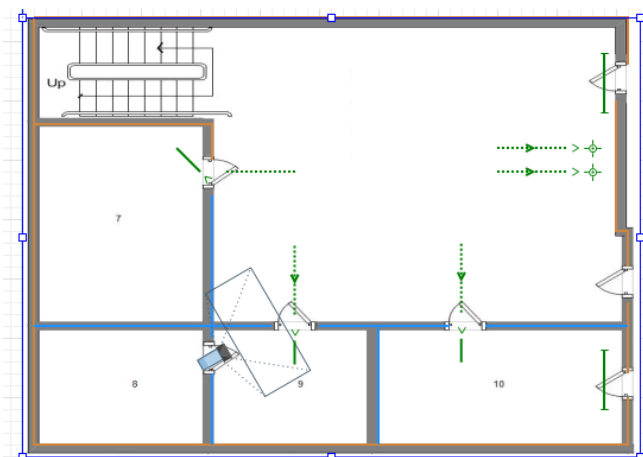


Рис. 2. Модель учреждения в двухмерном пространстве

Программа крайне удобна для моделирования и 3D проектирования, что в разы упрощает и сокращает время работы. Её также можно использовать не только в медицине и в других отраслях. Данная программа на наглядном примере, показывает, как можно применять концепцию.

Еще одна программа, которая помогает оптимизировать процессы – это Интеллив: корпоративный навигатор. Программа создана для оптимизации

процессов управления компании, бизнес-моделирование. Она решает проблемы, связанные с организационной структурой, разрабатывает финансовый план и системы сбалансированных показателей, которые потом представляются в виде анализа, например, на рисунке 3 представлен анализ ЦФО.

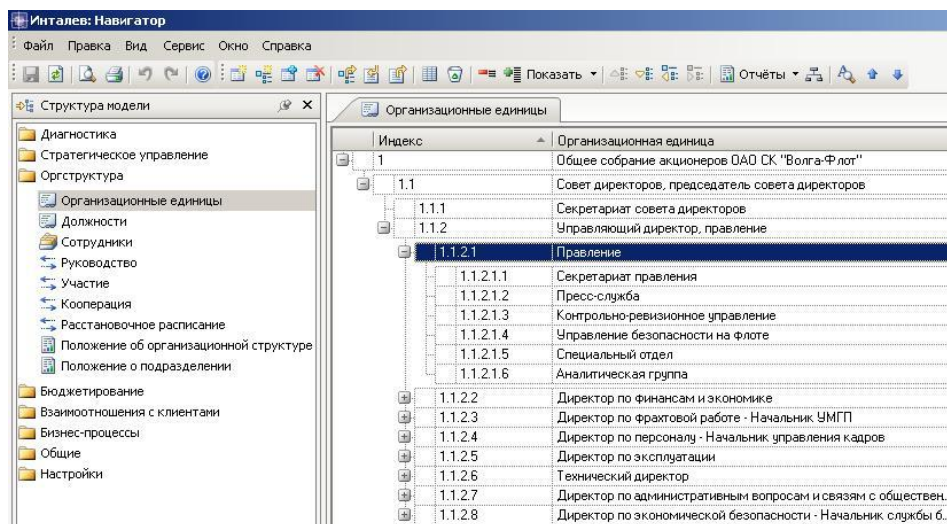


Рис. 3. Анализ ЦФО

Программа удобна для оптимизации процессов, связанных с регистрационными системами и официальными планами, распределение бюджета. Принцип «Бережливого производства» лежит в основе этой программы.

Множество людей пытаются сделать этот удобнее и лучше, придумывая новые методы программы, которые облегчают и оптимизируют процессы. Внедрение технологий «Бережливого производства» в медицинские организации явный тому пример.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс]: Бережливое производство (lean manufacturing) <https://nadpo.ru/academy/blog/berezhlivoe-proizvodstvo-cto-eto-takoe-celi-tehnologii-principy/>
2. [Электронный ресурс]: ИНТАЛЕВ: Корпоративный навигатор <https://soware.ru/products/intalev-corporate-navigator>
3. [Электронный ресурс]: AniLogic: Имитационное моделирование для бизнеса <https://www.anylogic.ru/>
4. В.В. Горбань, Л.В. Бурба, О.В. Свистун. Перспективы внедрения принципов бережливой поликлиники, в качестве основной стратегии повышения качества первичной медико-санитарной помощи — Краснодар: 2018. 42 с.

Э.Т. ГЕЙДАРОВ

eduardgejdarov@gmail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. кафедры биомедицинской инженерии
Э.Ю. АБДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ФИЛЬТРАЦИИ ШУМОВ ЭКГ-СИГНАЛА

Аннотация: в данной статье рассматриваются методы фильтрации шумов электрокардиосигнала (ЭКГ), возникающих при регистрации биопотенциалов сердца. В статье представлены современные методы цифровой обработки сигналов для устранения различных типов шумов, таких как артефакты движения пациента, сетевые помехи и мышечный тремор.

Ключевые слова: ЭКГ, фильтр Баттерворта, фильтр Чебышева, фильтр Савицкого-Голея, нейрообработка, биосигнал.

Введение:

ЭКГ является методом регистрации электрических потенциалов сердца и записывается с помощью поверхностных электродов, помещённых на конечностях на конечности или на грудь.

Целью данной работы является рассмотрение и оценка новых методов фильтрации, способных обеспечить высокое качество очистки ЭКГ-сигналов от шумов различной природы. Также, особое внимание уделено изучению гибридных подходов, сочетающих традиционные методы фильтрации с современными технологиями машинного обучения. Результаты исследования могут использоваться в медицине, повышая точность диагностики и мониторинга состояния пациентов.

Материалы и методы

Любой другой сигнал, кроме исследуемого, может быть назван помехой, артефактом или просто шумом. Источники шума могут быть как физиологическими, так и вызванными используемой аппаратурой или условиями эксперимента.

Рассмотрим конкретные виды фильтров:

1. Полосно-пропускающий фильтр – фильтр, который пропускает частоты, находящиеся в некоторой полосе частот.

Одним из его представителей является фильтр нижних частот Баттерворта. Для фильтра низких частот Баттерворта порядка N первые $2N-1$ производных от квадрата АЧХ равны нулю при $\Omega=0$, где Ω представляет собой аналоговую частоту в радиантах. Амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта является монотонной как в полосе пропускания, так и в полосе задержки. [1]

Базовая функция фильтра нижних частот Баттерворта задается следующими выражениями согласно формуле (1):

$$|H_a(j\Omega)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{j\Omega}{j\Omega_c}\right)^{2N}} \quad (1)$$

где H_a является частотной характеристикой аналогового фильтра и Ω_c – частотой среза (рад/с).

Так же, как и в случае ФНЧ Баттерворта, фильтр верхних частот Баттерворта может быть задан непосредственно в дискретной частотной области как представлено на формуле (2):

$$|H(k)|^2 = \frac{1}{1 + \left(\frac{k}{k_c}\right)^{2N}} \quad (2)$$

где k – индекс массива ДПФ, обозначающий дискретную частоту. Если K – это число точек в массиве ДПФ, то k_c – индекс массива, соответствующий частоте среза ω_c .

Далее рассмотрим фильтр Чебышева, он основан на аппроксимации последовательности сигналов скользящего окна степенным полиномом. Для устранения влияния шумов в сигналах ЭКГ могут использоваться фильтры Чебышева первого и более высоких порядков.[3]

Аппроксимация квадрата АЧХ нормированного ФНЧ Чебышева первого рода представляется в виде формулы (3):

$$|H(j\omega)|^2 = \frac{1}{1 + \varepsilon_p^2 \times F_N^2(\omega)} = \frac{1}{1 + \varepsilon_p^2 \times C_N^2(\omega)} \quad (3)$$

где $C_N(\omega) = \cos(N \times \arccos(\omega))$ – многочлен Чебышева первого рода

2. Фильтр скользящего среднего – это цифровой фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ) либо с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ). Такая процедура фильтрации и называется в общем виде усреднением с помощью фильтра, скользящего среднего (СС). Общая форма фильтра задается следующей формулой (4):

$$y(n) = \sum_{k=0}^N b_k x(n-k) \quad (4)$$

где x и y – входной и выходной сигналы фильтра соответственно. Величина b_k представляют собой коэффициенты фильтра или веса, $k = 0, 1, 2, \dots, N$, где N – это порядок фильтра.

Яркий пример скользящего фильтра – это фильтр Савицкого-Голея. Способ фильтрации шумов фильтром Савицкого-Голея основан на методе наименьших квадратов (МНК). Математически это значение вычисляется путем скользящего среднего взвешенного среднего с весами точек, положительными в центре окна фильтрации и отрицательными на периферии рис. 1.

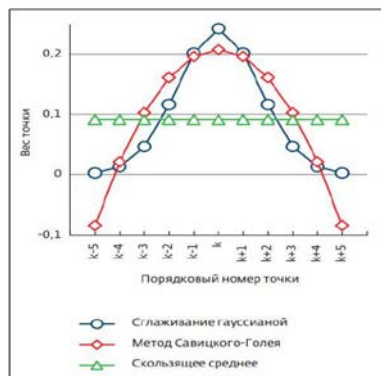


Рис. 1. Графики весов точек для методов скользящего взвешенного среднего (ширина окна 11 точек)

Сглаживающие фильтры Савицкого-Голея, они также называются полиномиальными сглаживающими фильтрами или сглаживающими фильтрами с минимальной квадратической ошибкой, как правило, используются для сглаживания зашумленных сигналов с широким (без шума) спектром. [2]

Пусть $x[n]$, $n = -M, M$ – дискретные отсчеты с центральным отсчетом $x[0]$. Тогда полиномиальная аппроксимация данных $2M+1$ отсчетов является полиномом $p(n)$ порядка N по формуле (5):

$$p(n) = \sum_{k=0}^N a_k n^k \quad (5)$$

где $p(n)$ – полином порядка N .

Сигнал на выходе фильтра получается путем применения дискретной свертки на формуле (6):

$$y[n] = \sum_{m=-M}^M h[m]x[n-m] = \sum_{m=-M}^M h[n-m]x[m], i = \overline{0, N} \quad (6)$$

Коэффициенты полинома аппроксимации получаются путем взятия производной E_n с минимальной среднеквадратической ошибкой по формуле (7):

$$\frac{\partial \varepsilon_N}{\partial \alpha_i} = \sum_{n=-M}^M 2n^i \left(\sum_{k=0}^N a_k n^k - x[n] \right) = 0 \quad (7)$$

3. В нынешнее время большую популярность набирают нейронные сети. Для подавления шумов в электрокардиограммах (ЭКГ) активно применяются различные методы обработки сигналов, включая использование нейронных сетей:

- LSTM (Long Short-Term Memory) – это рекуррентная нейронная сеть, которая отлично справляется с обработкой последовательных данных, таких как сигналы ЭКГ. Она способна прекрасно запоминать долгосрочные зависимости между сигналами и эффективно устраняет шумы. В частности, (LSTM) часто используется для удаления артефактов движения, мышечного тремора и других видов высокочастотных помех, человеческого фактора.

- GRU (Gated Recurrent Unit) является одним из видов (RNN) – рекуррентной нейронной сетью, схожей с (LSTM), но имеет упрощенное строение. Она тоже применяется для устранения шумов и может показывать хорошие результаты при обработке ЭКГ-сигналов.

- Свёрточная архитектура (CNN) особенно эффективна для работы с временными рядами, такими как ЭКГ. (CNN) способны извлекать пространственные особенности сигнала, такие как форма зубцов (PQRST), и использовать их для фильтрации шумов.

- Автоэнкодеры представляют собой особый вид нейронной сети, который обучается восстанавливать исходный сигнал из сжатого представления. Они могут использоваться для извлечения ключевых характеристик сигнала и подавления посторонних шумов.

- Генеративно-состязательная сеть состоит из двух частей: генератора и дискриминатора. Эта архитектура может применяться для генерации чистых ЭКГ из зашумленных, обеспечивая эффективное удаление различных типов шумов. [4]

Рассмотрим подробнее подавление шумов с помощью свёрточных нейронных сетей (CNN) и рекуррентные нейронные сети (RNN).

Нейронная сеть может быть представлена как функция, которая преобразует входной сигнал x в выходной y по формуле (8):

$$y = f(x; \theta) \quad (8)$$

где θ – параметры сети, которые обучаются на основе минимизации ошибки между предсказанным и истинным сигналом.

Функция потерь, например среднеквадратичная ошибка (MSE), используется для оценки качества предсказания определяется по формуле (9):

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (9)$$

где \hat{y}_i – предсказанный сигнал, а y_i – истинный.

После обучения модели необходимо провести оценку качества, используя метрики, такие как:

Signal-to-Noise Ratio (SNR): Соотношение сигнал/шум для оценки улучшения качества сигнала.

В последствии представлен график на рис. 2, на котором можно сложить сравнительный анализ.

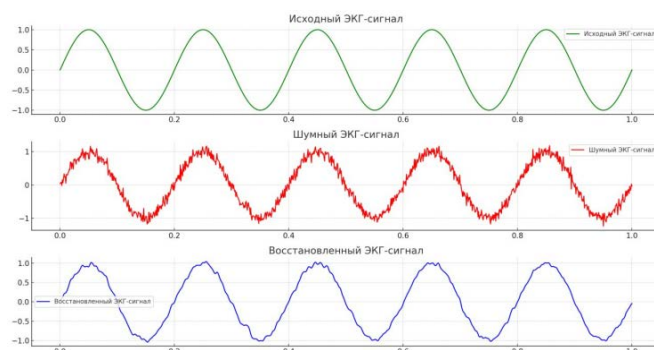


Рис. 2. Графики ЭКГ сигналов

Результаты

Результаты исследований рассмотренных фильтров в статье представлены в таблице 1.

Таблица 1

Преимущества и недостатки фильтров, используемых в ЭКГ

№	Тип фильтра	Преимущества	Недостатки
Фильтр Баттерворта	Частотный фильтр	Отличная плоская характеристика в полосе пропускания. Минимальная фаза, что предотвращает искажение сигнала.	Неэффективен при высоких уровнях шума, может потребовать высоких порядков для достижения нужной селективности
Фильтр Чебышева	Частотный фильтр	Более четкая грань выборка по сравнению с Баттервортом при том же порядке. Подходит для приборов, где важна высокая точность в определенной полосе частот.	Имеет рябь в полосе пропускания, что может исказить сигнал.

Фильтр Савицкого-Голея	Сглаживающий фильтр	Прекрасно сохраняет формы сигналов при сглаживании. Легко регулируется под разные размеры окна.	Может плохо работать с высокочастотным шумом.
Нейронные сети (CNN и RNN)	Глубокое обучение	Способны извлекать сложные паттерны и характеристики из данных. Лучше справляются с временными зависимостями (особенно RNN) и могут адаптироваться к различным видам шумов.	Требуют значительные объемы данных для его обучения. Долгое время обучения и сложность в переводе результатов.

Заключение

В заключении статьи можно отметить что, выбор метода подавления шума зависит от конкретных узлов прибора для считывания ЭКГ-сигнала. Для более сложных задач, требующих высокой точности и гибкости, нейронные сети могут быть лучшим выбором. Исходя из результата, нейронные сети преуспевают над выше сказанными фильтрами, своей способностью обрабатывать сложные сигналы, учиться на больших наборах данных и учитывать временные зависимости. Хотя традиционные фильтры остаются полезными в определенных местах, нейрообработка становится все более популярной в современных системах анализа биосигналов, включая ЭКГ.

Библиографический список

1. Баранов В.Н., Бочков М.С., Акмашев В.А. «Современные технологии обработки биомедицинских сигналов»: — URL: <https://e.lanbook.com/book/55419> (дата обращения: 01.11.2024).
2. Гордиевич А.В., Ревинская И.И. «Электрокардиограф с фильтрацией Электрокардиограмм методом Савицкого-Голея», <https://libeldoc.bsuir.by/handle/123456789/43442> (дата обращения: 01.11.2024).
3. «Расчет аналогового нормированного ФНЧ Чебышева первого порядка», https://ru.dsplib.org/content/filter_cheby1_ap/filter_cheby1_ap.html (дата обращения 02.11.2024).
4. Max A. Little «Machine Learning for Signal Processing: Data Science, Algorithms, and Computational Statistics.» - Oxford University Press, 13.10.2019. - 384 p.

УДК 615.47

Д.А. ГРИГОРЬЕВА

shkenzerella@gmail.com

Науч. руковод. – д-р техн. наук, проф. **А.В. МЕСРОПЯН**

Уфимский университет науки и технологий

ИМПЕДАНСНАЯ ПЛЕТИЗМОГРАФИЯ И ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФИЯ КАК МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ

Аннотация: в данной статье рассматриваются два метода измерения частоты сердечных сокращений: импедансная плетизмография и фотоплетизмография. Описаны принципы их работы и выделены преимущества и недостатки каждого из методов.

Ключевые слова: импедансная плетизмография, фотоплетизмография, ЧСС, электроды, светодиоды, фотодетектор, неинвазивный.

С каждым годом в больницах все чаще используют носимые технологии для мониторинга показателей здоровья пациента. Современная медицина использует множество методов для мониторинга сердечно-сосудистой системы, два из которых – импедансная плетизмография (ИПГ) и фотоплетизмография (ФПГ). Эти методы позволяют неинвазивно измерять частоту сердечных сокращений (ЧСС) и другие показатели, что делает их популярными как в медицинской практике, так и в потребительских устройствах, таких как смарт-часы и фитнес-трекеры.

Импедансная плетизмография – это метод регистрации и исследования пульсовых колебаний кровенаполнения сосудов различных органов и тканей, основанный на регистрации изменений полного (омического и емкостного) электрического сопротивления переменному току высокой частоты. В России часто используется термин реография.

ИПГ начала развиваться в середине 20-го века, когда ученые начали изучать изменения электрического сопротивления тканей для мониторинга кровотока. В 1960-х и 1970-х годах импедансная плетизмография активно использовалась для диагностики заболеваний периферических сосудов и мониторинга состояния пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. В 1980-е и 1990-е годы продолжались интенсивные исследования и разработки в области импедансной плетизмографии, улучшение сенсоров и методов обработки сигналов позволило повысить точность и расширить возможности метода. ИПГ использовалась в космических исследованиях для изучения влияния невесомости на сосудистую систему астронавта.

В настоящее время методология способа основана на двух или четырехточечной схеме измерения объемного удельного сопротивления (рис. 1).

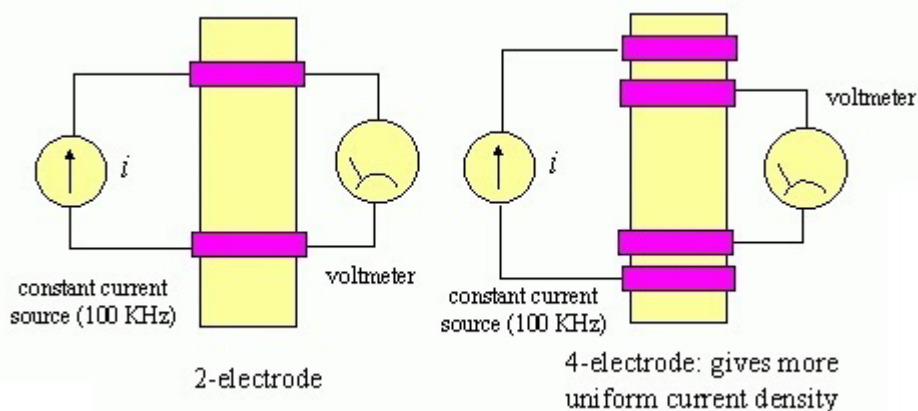


Рис. 1. Двухточечная и четырехточечная схема измерения объемного удельного сопротивления

Принцип работы ИПГ заключается в том, что на кожу пациента, обычно на грудной клетке или конечностях, накладываются электроды, через которые проходит сигнал с частотой от 20 до 150 кГц (в зависимости от исследуемых тканей). По мере прохождения сигнала через ткани, амплитуда генератора изменяется в зависимости от кровенаполнения. Основное требование к генератору сигнала — это постоянный ток, обычно не превышающий 10-15 мкА. Вторая система электродов фиксирует модулированный сигнал, фактически выполняя роль преобразователя импеданс-напряжение. При двухточечной схеме электроды генератора и приемника совмещены. Далее сигнал усиливается, из него удаляется несущая частота, устраняется постоянная составляющая, оставляя нужную дельту (рис. 2).

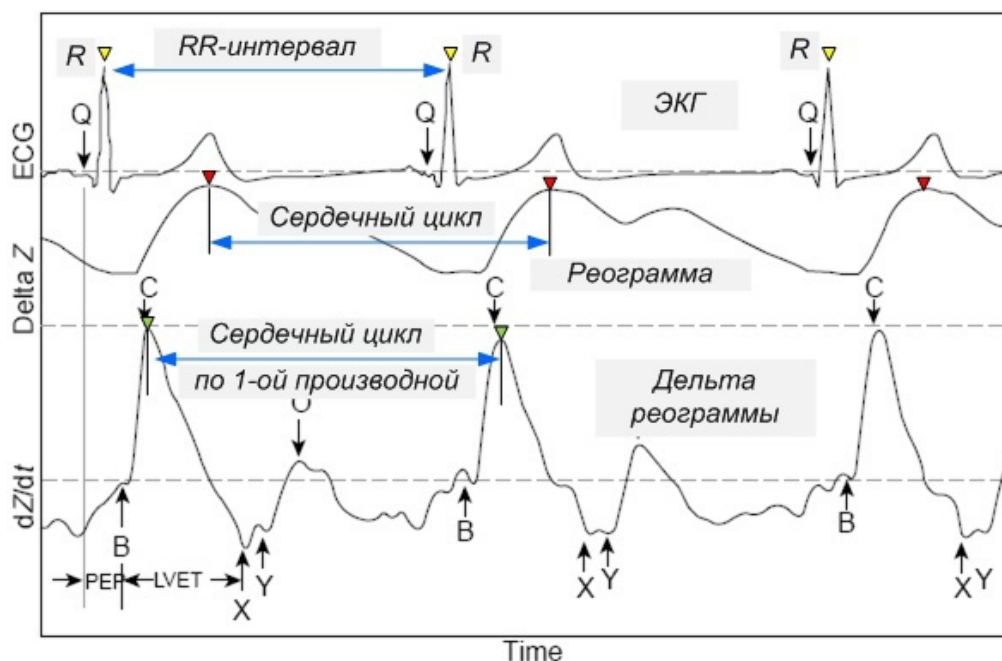


Рис. 2. Примеры временных кривых ЭКГ, импедансной плетизмограммы (реограмме) и ее производной при синхронной регистрации

Анализ пульсовой кривой позволяет оценить состояние кровообращения в исследуемом органе. Частота пульса определяется путем измерения интервала времени (ΔT в секундах) между двумя последовательными пиками систолической волны (максимумами амплитуды). Частота пульса (в ударах в минуту) вычисляется как $60/\Delta T$.

Преимущества данного метода – это высокая точность измерений, неинвазивность и безопасность. Недостатками же являются чувствительность к движениям пациента, что может влиять на точность данных и необходимость точного размещения электродов, что требует определённых навыков.

Основные области применения ИПГ это медицина и научные исследования. Данный метод, как было сказано ранее, активно используется в диагностических центрах и кардиологии, для диагностики периферических сосудистых заболеваний и проведения оценки функций сердца и сосудов, а также применяется в космической медицине и в изучении микрогемодинамики, и оценки изменений сосудистого тонуса под воздействием различных факторов.

Фотоплетизмография (оптическая плетизмография) – это фотометрический метод, основанный на способности биологической ткани изменять поглощение или отражение света, проходящего через неё.

Первые упоминания об этом методе датируются 1930-ми годами, когда ученые начали использовать свет для изучения изменений объема кровеносных сосудов. В 1970-х годах технологии начали стремительно развиваться, что привела к созданию первых коммерческих приборов для измерения частоты сердечных сокращений с использованием ФПГ. В 1980-х годах на основе данного метода была разработана пульсоксиметрия, которая позволила измерять насыщение крови кислородом, что стало прорывом в медицинских технологиях.

Принцип работы ФПГ построен следующим образом: светодиоды излучают свет (чаще всего зеленый, красный или инфракрасный), который проходит через кожу и кровь. По мере того как кровь наполняет сосуды, количество отраженного света изменяется. Эти изменения фиксируются фотодетектором и преобразуются в электрические сигналы, по которым определяется частота сердечных сокращений.

В момент расслабления сердца в сосуде содержится мало крови и большая часть света отражается, что в свою очередь регистрируется фотоэлементом (рис. 3).

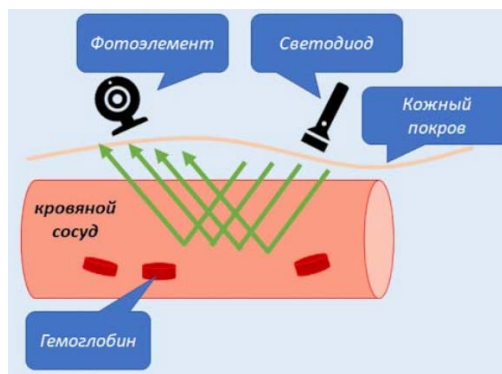


Рис. 3. Работа фотоплетизмографии в момент расслабления сердца

В момент сокращения сердца, сосуды наполняются кровью и расширяются, из-за чего большая часть света поглощается. Датчик регистрирует изменение количества поглощённого света и фиксирует также удар сердца (рис. 4).

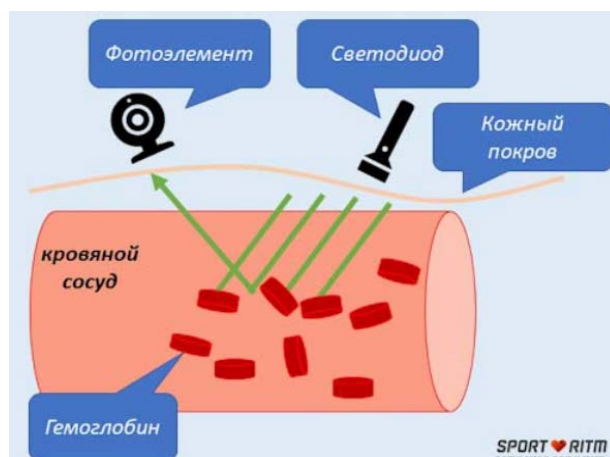


Рис. 4. Работа фотоплетизмографии в момент сокращения сердца

Преимущества использования фотоплетизмографии заключаются в неинвазивности и удобстве использования, компактности и портативности, широкая доступность и популярность в носимых устройствах, в то время как недостатками является чувствительность к движениям и ограниченная точность в условиях низкого кровяного давления или толстого слоя кожи.

ФПГ активно используется в медицине для мониторинга ЧСС, насыщения кислородом и оценки периферического кровообращения у пациентов, например, пульсоксиметры, основанные на фотоплетизмографии широко применяются для мониторинга состояния пациентов с респираторными заболеваниями, включая COVID-19. ФПГ применяется и в научных исследованиях для изучения реакций организма на различные физиологические стимулы и состояния, такие как стресс и физическая нагрузка, что помогает оптимизировать нагрузки и улучшить результаты.

При сравнении двух методов, было выявлено, что основные различия между импедансной плетизмографией и фотоплетизмографией, помимо принципа работы, заключается в области применения. Фотоплетизмография чаще всего используется в носимых устройствах для отслеживания ЧСС, в то время как импедансная плетизмография чаще находит применение в клинической практике для длительного мониторинга.

ИПГ применяется для оценки состояния периферических сосудов и диагностики заболеваний, таких как тромбозы. Данный метод позволяет исследовать микроциркуляцию крови и ее изменения под воздействием различных факторов, а также применяется для долгосрочного мониторинга сердечно-сосудистых заболеваний.

ФПГ, как было сказано выше, широко применяется в коммерческих фитнес-трекерах для мониторинга частоты сердечных сокращений, а также позволяет отслеживать фазы и качество сна, оценивать стресс и уровень активности.

Современные технологии продолжают совершенствоваться, и оба метода имеют потенциал для дальнейшего развития. Возможность интеграции импедансной плетизмографии с новыми методами обработки данных и искусственным интеллектом для повышения точности и автоматизации анализа. Для фотоплетизмографии дальнейшее развитие подразумевает появление новых сенсоров и улучшение алгоритмов обработки данных для повышения точности, а также расширение возможностей мониторинга.

Таким образом мы приходим к выводу о том, что импедансная плетизмография и фотоплетизмография представляют собой два важных метода мониторинга сердечно-сосудистой системы. ИПГ обеспечивает высокую точность и подходит для медицинского применения, однако требует точного размещения электродов и чувствительна к движениям. ФПГ удобна для ежедневного мониторинга здоровья и широко используется в носимых устройствах, но может быть менее точной в некоторых условиях. Оба метода имеют свои уникальные преимущества и недостатки, что делает их незаменимыми в различных аспектах современной медицины и повседневной жизни.

Библиографический список

1. Импедансная плетизмография [Электронный ресурс] //URL: Импедансная плетизмография - Разработка прибора для измерения частоты сердечных сокращений (дата обращения: 17.11.24)
2. Федотов, А.А., Акулов, С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга: учебное пособие / А.А. Федотов, С.А. Акулов – Москва: Радио и связь, 2013. – 250 с.
3. Magene H803 – обзор оптического пульсометра [Электронный ресурс] //URL: Magene H803 обзор оптического пульсометра | Блог SPORT-RITM.ru (дата обращения: 17.11.24)

© Григорьева Д.А., 2024

Г.И. ИБРАГИМОВА, А.Б. ВАЛИЕВА

guzel.ibragimova.01@inbox.ru

allabv20@mail.ru

Науч. руковод. - канд. техн. наук, доцент **Е.С. МОРОЗОВА**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА РЕЦИРКУЛЯЦИИ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Аннотация: статья посвящена изучению систем рециркуляции и проведению сравнительного анализа производителей в данной области. В работе рассматриваются основные принципы работы систем рециркуляции, их преимущества и недостатки, а также особенности различных моделей от ведущих производителей.

Ключевые слова: система рециркуляции; воздухообмен; рециркуляционные колонны.

Операции с применением сложных передовых технологий, например, нейрохирургические операции или операции по пересадке и трансплантации органов, проводятся в высокоасептических операционных. Такие операционные отличаются от общепрофильных операционных более высокими требованиями к микроклимату и чистоте воздуха. В частности, нормативной документацией определено, что в высокоасептических операционных площадь ламинарного потока должна быть не менее 9 м², тогда как в общепрофильных операционных достаточно 3-4 м².

Площадь ламинарного потока 9 м² достигается установкой распределителя воздуха размером 3,0х3,0 м. Ввиду больших размеров воздухораспределителя для формирования ламинарного потока такой большой площади требуется значительное количество приточного воздуха, что ведет к существенным энергозатратам на воздухоподготовку. Для экономии ресурсов допускается применения рециркуляционных систем для возврата части удаляемого из помещения воздуха обратно в приточный воздухораспределитель. Также нормативными требованиями определено, что воздух из операционных должен удаляться из двух зон после очистки фильтрами класса G4, что предполагает наличие специализированных изделий для удаления воздуха [1].

Реализация такой схемы воздухообмена возможна с применением оборудования различных производителей. Рассмотрим комплект оборудования для высокоасептических операционных производства Tion и АМС МЗМО.

Решения для обеспечения уровня чистоты в операционной, предложенные производителем Tion, представлены на рис. 1.

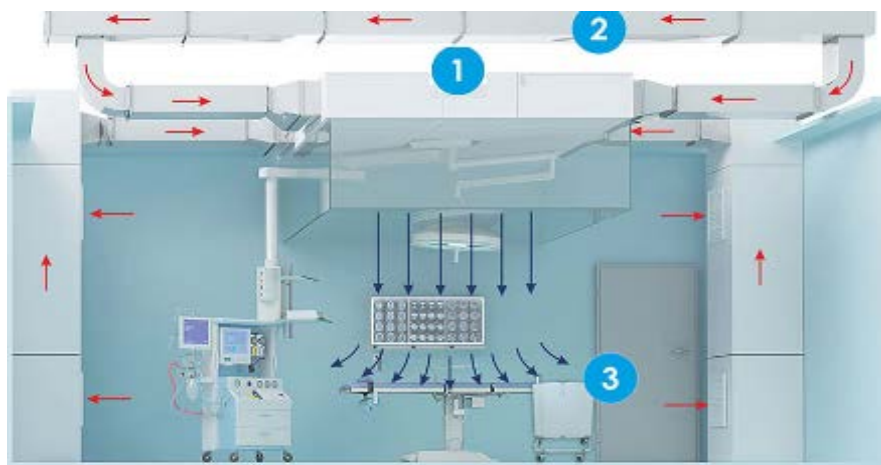


Рис. 1 – Схема размещения оборудования Тiон в высокоасептической операционной:

1 – Ламинарные потолки, для защиты пациента и стерильного инструмента от заражений из воздуха, 2 – Колонны или модули рециркуляции, 3 – Обеззараживатель воздуха внутри помещения

Защита операционного стола и инструмента реализуется ламинарным потолком 1 Тион В Lam-1 с высотой корпуса 400 мм или Тион В Lam-1 с высотой корпуса 290 мм при ограниченном запотолочном пространстве [1]. Снижение объемов наружного воздуха с улицы осуществляется стеновой рециркуляционной колонной 3 RP, схема устройства которой представлена на рис. 2.

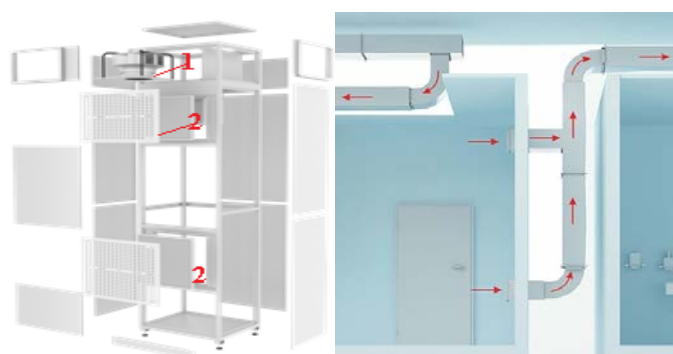


Рис. 2 – а) Устройства рециркуляционной колонны:

1 – Вентилятор, 2 – Воздухозаборная решетка;

б) схема удаления воздуха через комплект решеток и воздуховод

Рециркуляционная колонна состоит из вентилятора 1 и двух воздухозаборных решеток 2, заключенных в шумоизолированный корпус. Колонна устанавливается непосредственно в помещении операционной и сетью воздуховодов подключается к ламинарному воздухораспределителю. Для удаления воздуха Тион не предусматривает какое-либо специализированное изделие и предлагает собрать систему из воздуховода, опускающегося в помещении, и двух воздухозаборных решеток с фильтрами G4, установленных

в воздуховод, как показано на рисунке 2б, которая также подключается к ламинарному распределителю, но к другим патрубкам.

Достоинствами такой системы рециркуляции является простота монтажа рециркуляционной колонны, так как она является цельным изделием, и малая протяженность сети воздуховодов от рециркуляции к ламинарному распределителю ввиду установки колонны в помещении операционной. Недостатками такой схемы удаления воздуха является наличие дополнительного источника шума в операционной от рециркуляционной колонны, а также необходимость предусматривать дополнительные площади для размещения колонны и устройства удаления воздуха из двух зон путем опускания воздуховода.

Схема обвязки вентиляционного оборудования на базе оборудования АМС МЗМО в части устройства системы рециркуляции и подачи воздуха имеет ряд отличий от Т10п.

В качестве ламинарного поля для защиты операционного стола и инструмента используется воздухораспределитель РВ-АМС-Л-55 размером 3,0х3,0м, представленный на рис. 3, с двумя камерами коллекторами.



Рис. 3. – Распределитель воздуха РВ-АМС-Л-55:
1 – Распределитель, 2 – Камера коллектор

Камера-коллектор 2 устанавливается на входе в ламинарный распределитель воздуха 1 и состоит из смесительной камеры с двумя расположенными взаимно перпендикулярно входными патрубками и коллектора. Применение камер-коллекторов позволяет обеспечить равномерное смешивание воздушного потока от основного кондиционера и потока рециркуляционного и выровнять по температуре выходящий из распределителя воздушный поток. В результате совместного применения камеры-коллектора и РВ-АМС-Л в рабочую зону подается ламинарный чистый воздух с постоянной температурой по всему выходному сечению распределителя [2].

В качестве системы рециркуляции применяются установки низкопрофильные вентиляционные УНВ-АМС-280-М2, представленные на рис. 4а.



Рис. 4. – а) установка низкопрофильная вентиляционная УНВ-АМС-280-М2, б) панель воздухозаборная с забором воздуха в средней части, в) панель воздухозаборная с забором воздуха в верхней и нижней части

Установка представляет собой жесткую каркасную блочную конструкцию прямоугольной формы, состоящую из блока вентилятора, двух шумоглушителей и переходников разных размеров. Установка размещается в межпотолочном пространстве, что позволяет вынести её за пределы операционной в смежные помещения наркозной или предоперационной, в которых требования по уровню шума ниже ввиду отсутствия постоянных рабочих мест.

Для удаления воздуха из помещения производителем АМС МЗМО предложено использование специализированных воздухозаборных панелей с забором воздуха в верхней и нижней части (рис. 4б), а для рециркуляционной системы - панелей с забором воздуха в средней части (рис. 4в). Панели воздухозаборные имеют встроенный фильтр класса G4 и встраиваются в ограждающие конструкции операционной, не занимая дополнительных площадей в помещении.

Таким образом, отличительными особенностями применения оборудования АМС МЗМО в операционных является возможность подачи ламинарного потока с постоянной температурой по всему выходному сечению распределителя, экономия площади помещения за счет встраивания средств удаления воздуха в ограждающие конструкции и снижение уровня шума в операционной за счет выноса рециркуляционного оборудования за пределы обслуживаемого помещения. Однако недостатком такого решения является более сложная сеть воздуховодов системы рециркуляции из-за удаленности низкопрофильных установок от ламинарного распределителя и панелей воздухозаборных.

Основное отличие между двумя производителями – это система рециркуляции, поэтому был проведен сравнительный обзор рециркуляционных установок, который приведен в таблице 1.

Сравнительный обзор рециркуляционных установок

Наименование технического параметра	Рециркуляц ионная колонна PR	Установка низкопрофильная малошумящая
Габаритные размеры (ДхШхВ) мм	830х600х(2 900-4600)	2000х680х390
Масса, кг	330	50
Потребляемая мощность, Вт	520	455
Уровень шума, дБА	50	54
Номинальная производительность, м ³	2100	1200

На основании проведенного анализа предоставленных данных можно сделать обоснованный вывод о преимуществе системы рециркуляции АМС МЗМО для применения в медицинских операционных. Несмотря на более сложную конфигурацию воздуховодов, вызванную удаленностью установок от ламинарного распределителя, система АМС МЗМО демонстрирует значительные плюсы в области комфорта, снижения уровня шума и оптимизации использования пространства, что делает ее более целесообразной для применения в операционных.

Таким образом, для достижения высоких стандартов медицинского обслуживания и обеспечения комфортных условий работы в операционных рекомендуется рассмотреть систему рециркуляции АМС МЗМО как предпочтительный выбор.

Библиографический список

1. Все виды оборудования для обеззараживания воздуха в медучреждениях – URL: <https://pro.tion.ru/med/> (дата обращения 26.10.2024).
2. Каталог АМС-МЗМО - купить профессиональное оборудование в России и СНГ с доставкой – URL: <https://mzmo.nt-rt.ru/> (дата обращения 26.10.2024).

© Ибрагимов Г.И., Валиева А.Б., 2024

УДК 628.8

Д.И. ПОНОМАРЕВА

dponomareva2606@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **А.Б. ВАЛИЕВА**

Уфимский Университет Науки и Технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ПАЛАТАХ ДЛЯ ТРАНСПЛАНТАЦИИ КОСТНОГО МОЗГА

Аннотация: в данной статье рассматривается понятие чистых помещений, основные элементы технологии чистых помещений, причины применения технологии чистых помещений в палатах для трансплантации костного мозга.

Ключевые слова: чистое помещение, трансплантация костного мозга, класс чистоты, фильтрация.

Трансплантация костного мозга (ТКМ) – это высокотехнологичная медицинская процедура, которая дает надежду на выздоровление пациентам с серьезными заболеваниями крови, онкологией и другими иммунодефицитными состояниями. Этот метод лечения позволяет заменять клетки организма, которые были разрушены или повреждены в результате болезни [3]. По данным Минздрава ТКМ ежегодно требуется 5 тысячам россиян [4].

Перед трансплантацией костного мозга пациенты проходят процедуру кондиционирования. Это агрессивная терапия, благодаря которой удаляются оставшиеся раковые клетки в организме и уменьшается вероятность их повторного образования. Поэтому процедура трансплантации костного мозга сопряжена с высоким риском осложнений, в том числе инфекционных заболеваний [7].

Пациенты после трансплантации имеют ослабленный иммунитет, что делает их особенно уязвимыми для микроорганизмов, которые могут быть смертельно опасны. Статистика показывает, что только 3-4 из 10 перенесших ТКМ, выживают [5]. Поэтому необходимо создать безопасную среду обитания для таких пациентов с помощью технологий чистых помещений.

Чистые помещения представляют собой среды, в которых контролируется концентрация аэрозольных частиц и которые спроектированы, построены и эксплуатируются так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц [2].

Рассмотрим основные элементы технологии чистых помещений в палатах для трансплантации костного мозга.

1. Положительное давление

Принцип перепада давления заключается в предотвращении обратного тока воздуха из менее чистых в более чистые помещения [2].

Согласно нормам, между палатой и коридором необходимо предусматривать шлюз – переходное помещение. Палата имеет класс чистоты А, шлюз – Б, коридор – В. Для исключения перетока воздуха из «грязного» коридора в шлюз, а из шлюза в палату, необходимо создавать в палате большее давление, чем в шлюзе, а в шлюзе – большее, чем в коридоре. Таким образом, исключается возможность занесение загрязнений из смежных помещений.

На рисунке 1 представлено схематичное изображение плана палаты для ТКМ, а также указаны направления перетоков воздуха с помощью стрелок.

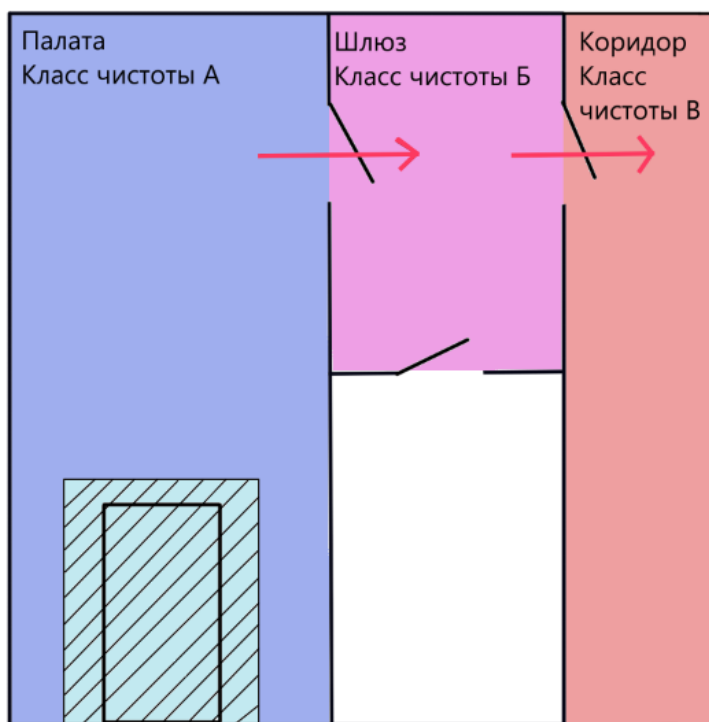


Рис. 6. Схематичное изображение плана палаты

2. Потоки воздуха

Для более высокой степени защиты пациента в палатах для ТКМ необходимо создать чистую зону. Это определенное пространство внутри помещения, в котором контролируется концентрация аэрозольных частиц и которое построено и эксплуатируется так, чтобы свести к минимуму поступление, выделение и удержание частиц [2]. На рисунке 1 изображена кровать пациента с заштрихованной чистой зоной.

Для обеспечения необходимого класса чистоты используются однонаправленные потоки воздуха над койкой больного (рис. 2). Однонаправленный поток воздуха – это контролируемый поток воздуха с постоянной скоростью (0,24 – 0,3 м/с) и примерно параллельными линиями тока по всему поперечному сечению чистой зоны [2]. Такой поток непосредственно уносит частицы из чистой зоны, где находится ослабленный пациент.

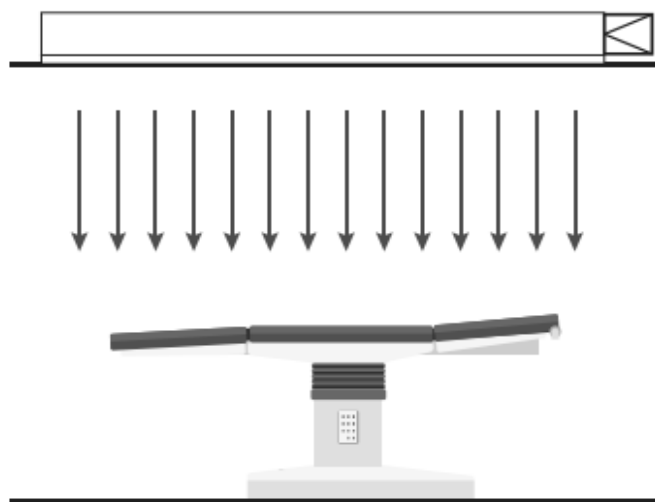


Рис. 2. Ламинарный поток воздуха в зоне пациента

Однонаправленный поток воздуха должен иметь особую степень очистки класса 5 ИСО. Поэтому в палатах для ТКМ воздух очищают четырьмя ступенями фильтрации G4, F7, F9 и H14. Фильтр класса G4 обеспечивает грубую очистку, фильтры класса F7, F9 – тонкую очистку, а для финальной ступени фильтрации используются высокоэффективные HEPA фильтры класса H14. HEPA фильтры изготавливаются из материалов, волокна которых хаотично переплетаются между собой для улавливания частиц загрязнителей. Сорбент обеспечивает хорошую защищенность помещений от проникновения микрочастиц, а бактерицидный раствор, которым пропитан фильтрующий материал, предотвращает накопление и размножение патогенных организмов внутри устройства [1].

Чистые помещения, спроектированные в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями, обеспечивают строгий контроль количества частиц пыли, микроорганизмов, а также химических загрязнений. Это значительно снижает вероятность инфекционных осложнений у пациентов [8].

Помимо количества частиц в таких помещениях с высокой точностью контролируются температура, влажность и давление воздуха, что создает оптимальные условия для выздоровления пациентов [6].

Поверхности в палатах для трансплантации регулярно дезинфицируются, а медицинский персонал использует специальную стерильную одежду, чтобы минимизировать риск заражения [8].

Чистые помещения позволяют изолировать пациентов, снижая риск распространения инфекций, как от пациента к пациенту, так и от пациента к персоналу.

Таким образом, технология чистых помещений является необходимым элементом в палатах для трансплантации костного мозга. Чистая зона с однонаправленным потоком воздуха и его высокоэффективной фильтрацией обеспечивает безопасную и контролируемую среду для иммунодефицитных пациентов, минимизируя риск инфекционных осложнений. Внедрение этой

технологии повышает эффективность лечения и шансы на успешную трансплантацию.

Библиографический список

1. Вильям Уайт. Технология чистых помещений. Основы проектирования, испытаний и эксплуатации. – М.: изд. «Клинрум», 2002. – 304 с.
2. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2002. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха: межгосударственный стандарт: дата введения 2004-04-01 / Изд. официальное. – Москва: Стандартиформ, 2006.
3. М.С. Молчанова. Трансплантация костного мозга. Применение при лечении онкологических и других заболеваний. - М.: изд. ЗАО «ЗЭО «ММТК-СТРОЙ», 2010. – 89 с.
4. Национальный регистр доноров костного мозга имени Васи Перевощикова // Русфонд. Регистр URL: https://rdkm.rusfond.ru/registr_stat (дата обращения: 11.11.2024)
5. Пересадка костного мозга при онкологических заболеваниях крови // Международный медицинский координационный центр URL: <https://www.med-core.com/peresadka-kostnogo-mozga/> (дата обращения: 11.11.2024)
6. СП 2.1.3678-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг»
7. Трансплантация гемопоэтических клеток стволовых клеток // Фонд семьи Тиньковых URL: <https://tinkovfund.org/articles/hematopoietic-stem-cell-transplantation/> (дата обращения: 11.11.2024)
8. Чистые помещения. / Под редакцией А.Е. Федотова. – М.: 2003. – 577 с.

© Пономарева Д.И., 2024

УДК 57.08

О.А. ПОРОШИНА

olga210403@gmail.com

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ А.Б. ВАЛИЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ТИПОВ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ОКОН, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Аннотация: в статье приведены основные типы передаточных окон, устанавливаемых в чистых помещениях, рассмотрены примеры их оснащения, а также сделан вывод о выборе передаточного окна для помещений центрального стерилизационного помещения.

Ключевые слова: чистое помещение; центральное стерилизационное отделение; пассивное передаточное окно; активное передаточное окно.

В чистых помещениях применяются различные методы поддержания требуемых параметров микроклимата. Одним из конструктивных решений является использование передаточных окон, которые располагаются между помещениями, где необходимо обеспечить особый контроль за чистотой при перемещении предметов из одного помещения в другое. Так, в центральном стерилизационном отделении (ЦСО) передаточное окно может быть встроено между чистой и стерильной зоной для передачи инструментов, прошедших ручную дезинфекцию и сушку, либо между кладовой стерильных материалов и экспедицией.

В случае, когда передача материалов или инструментов не требуется, а необходим только визуальный обзор процессов, происходящих внутри помещения без нарушения его стерильности, достаточно применить смотровое окно. Пример такого окна производства Миасского Завода Медицинского Оборудования (МЗМО) представлен на рисунке 1. Оно включает профиль из алюминия однокамерный стеклопакет [1].



Рис. 7. Смотровое окно производства МЗМО

Передаточные окна, используемые в чистых помещениях, преимущественно имеют кубическую форму. Они выполняют функцию буфера для передачи медицинских инструментов и других предметов из одного помещения в другое. Такая конструкция практически исключает возможность попадания загрязняющих частиц из менее чистого помещения в более чистое, а также перетоки воздуха между ними. Передаточные окна встраиваются в стенную перегородку или в дверь с высоким уровнем герметичности.

В зависимости от требования к помещению используется один из следующих видов передаточных окон:

- Активные – внутри окна поддерживается требуемый воздухообмен в момент передачи при помощи поступающего потока очищенного воздуха;
- Пассивные – обдув внутри окна отсутствует.

На рисунке 2 представлен пример пассивного передаточного окна.



Рис. 8. Герметичное пассивное передаточное окно ОС-АМС-П-Г

При одновременном открывании обеих дверей автоматика обеспечивает срабатывание звукового и визуального оповещения.

Корпус окна выполняется из нержавеющей стали, обладающей стойкостью к повреждениям. Внутренняя часть из нержавеющей стали имеет гладкую поверхность, что делает возможным частую обработку дезинфицирующими средствами согласно требованиям, установленным Министерством Здравоохранения России [2].

Двери и дверные коробки также изготавливаются из нержавеющей стали. В том месте, где дверь прилегает к коробу предусмотрено резиновое уплотнение, которое обеспечивает полную герметичность. В качестве остекления применяется закаленное стекло, которое позволяет видеть

происходящее внутри шлюза без искажений. Данное окно имеет систему автоматики, которая включает: два сигнальных светодиода (красный и зеленый) для индикации состояния двери (открыто или закрыто); таймер и клавиатура для установки времени обработки ультрафиолетовым (УФ) излучением; электронные замки дверей, система звукового оповещения [2].

Наличие в конструкции передаточного окна ультрафиолетового облучателя соответствующей мощности и спектра позволяет добиться практически полного уничтожения бактерий, вирусов и спор внутри шлюза, а также дополнительного обеззараживания воздуха, находящегося во внутреннем объеме окна. Корпус также может быть оборудован светильником для доступного обзора содержимого окна и его поверхности. Это позволяет заметить загрязнения и/или повреждения и упрощает ремонтные работы внутренних элементов передаточного окна. Ультрафиолетовый излучатель и светильник представляют собой лампы с большим сроком службы и не требуют частой замены [3].

Для помещений с более высокими требованиями к чистоте применяются активные передаточные окна, представленные на рисунке 3.



Рис. 9. Активное передаточное окно ОС-АМС-П-Г-О

Данный вид передаточного окна позволяет производить удаление загрязняющих частиц с передаваемых предметов путем обдува очищенным воздухом. Корпус и двери изготавливаются из нержавеющей стали, имеется остекление из сталинита, а также для герметизации предусмотрено двойное уплотнение из резины. Предусмотрена система автоматизации, аналогичная рассмотренной системе для пассивного передаточного окна. В верхней части окна установлена УФ лампа. Особенностью данного вида передаточного окна является перфорированное строение боковых стен, которое обеспечивает подачу и забор воздушного потока для очистки внутри окна.

Воздух в шлюз подается через воздуховод, подсоединенный к приточной системе вентиляции. Удаляется воздух через воздуховод, подключенный к вытяжной системе вентиляции.

Воздух поступает в камеру через высокоэффективный High Efficiency Particulate Absorption (HEPA) фильтр класса H14. Во время циклов обдува и УФ очистки, двери блокируются, есть электронная блокировка [4].

Рассмотрев возможные типы конструкций передаточных окон для чистых помещений, можно сделать вывод о том, что для оснащения ЦСО допустимо применение пассивных и активных передаточных окон. Для установки между чистой и стерильной зонами ЦСО целесообразно применение окна с обдувом для дополнительной очистки обработанных вручную инструментов и минимизации риска проникновения загрязняющих частиц в стерильную зону из грязной. Между складом стерильных материалов и экспедицией ЦСО достаточно установки пассивного передаточного окна, так как в этих помещениях предъявляются одинаковые требования к чистоте и окно необходимо для предотвращения перетока воздуха при передаче медицинских изделий.

Библиографический список

1. АМС МЗМО. Смотровые окна || АМС-МЗМО. Технические характеристики на окна.: Официальный сайт. – URL: https://mzmo.nt-rt.ru/images/manuals/smotr_okno.pdf (дата обращения 11.11.2024). – Текст: электронный.
2. АМС МЗМО. Передаточное окно || АМС-МЗМО. Технические характеристики на окна.: Официальный сайт. – URL: https://mzmo.nt-rt.ru/images/manuals/peredat_okno.pdf (дата обращения 11.11.2024). – Текст: электронный.
3. Патент N 213360 Российская Федерация, МПК E06B 5/00 (2006.01) A61L 2/10 (2006.01). Передаточное окно: N 2022110222: заявл. 15.04.2022: опубл. 07.09.2022 / Ильин С.В. – 10 с.
4. АМС МЗМО. ОС-АМС-П-Г-О || АМС-МЗМО. Технические характеристики на ОС АМС П-Г-О, О.: Официальный сайт. – URL: https://mzmo.nt-rt.ru/images/manuals/obduv_okno.pdf (дата обращения 11.11.2024). – Текст: электронный.

© Порошина О.А., 2024

УДК 628.83

О.А. ПОРОШИНА

olga210403@gmail.com

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ А.Б. ВАЛИЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ТРЕБОВАНИЙ К УРОВНЮ МИКРОКЛИМАТА В ПОМЕЩЕНИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО СТЕРИЛИЗАЦИОННОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Аннотация: в статье приведены основные требования, предъявляемые к параметрам микроклимата в помещениях центрального стерилизационного отделения, а также факторы, влияющие на эти параметры.

Ключевые слова: чистое помещение; центральное стерилизационное отделение; кратность воздухообмена; фильтр; микроклимат.

Очистка и дезинфекция медицинских материалов и инструментов от возможных патологических микроорганизмов, бактерий, инфекций или загрязнений является обязательным условием функционирования любого лечебно-профилактического учреждения. Эти функции выполняют центральные стерилизационные отделения (ЦСО) в составе больницы. Ввиду особой важности ЦСО в действующей нормативной документации указаны особые требования к таким отделениям, в том числе и применение технологии "чистых помещений".

Свести к минимуму количество частиц, проникающих внутрь чистого помещения, можно путем подачи в помещение большого объема воздуха. Это приводит к разбавлению загрязнений и удалению их из чистого помещения. Следует также отметить, что подача большого объема воздуха создает положительный перепад давления, который исключает переток воздуха, содержащего загрязняющие частицы и бактерии, внутрь чистого помещения из окружающей его среды. Поток воздуха, поступающий в помещение, обязательно проходит через несколько фильтров, финальным из которых является высокоэффективный фильтр [1].

Материалы, из которых строятся чистые помещения должны выдерживать многократное воздействие дезинфицирующих и чистящих средств. Персоналу необходимо соблюдать правила работы в таких помещениях, а также носить специализированную одежду.

Чистые помещения широко применяются в лечебно-профилактических учреждениях. Не исключением является и центральное стерилизационное отделение (ЦСО). Отделение играет большую роль при профилактике распространения заболеваний внутри медицинского учреждения, а также предотвращает инфекционное заражение через грязные медицинские

инструменты В ЦСО проходят все этапы стерилизации медицинских изделий. Обеспечение требуемого уровня чистоты достигается путем зонального разделения помещений ЦСО. Грязная, чистая и стерильная зоны отделены друг от друга физически и относятся к разным медицинским классам чистоты [3]. Согласно СП2.1.3678-20 чистая и стерильная зоны ЦСО относятся к медицинскому классу чистоты «Б», а грязная зона – к классу «Г» [4]. Пример плана ЦСО с делением на зоны представлен на рисунке 1.



Рис. 10. План ЦСО

Исходя из требований, применяются следующие три принципа разделения помещений разных классов чистоты:

1. Принцип вытесняющего потока (поток воздуха должен быть направлен из более чистого в менее чистое помещение и иметь скорость не менее 0,2 м/с).

2. Принцип перепада давления (давление воздуха в более чистом помещении должно быть выше, чем в менее чистом);

3. Принцип физического барьера (создание непроницаемого барьера для предотвращения переноса загрязнений из менее чистой зоны в более чистую) [5].

Для организации ЦСО применяются второй и третий принципы, вытесняющий поток используется в помещениях более высокого класса чистоты.

Перечисленные методы позволяют обеспечить требуемый уровень чистоты и избежать повышения концентрации загрязняющих частиц, поступающих в чистое помещение извне. Функционирование чистого помещения напрямую зависит от соблюдения установленных требований к уровню микроклимату в нем.

Чтобы поддерживать в чистом помещении требуемые параметры микроклимата, необходимо обеспечить определенную кратность воздухообмена. Данный показатель является одним из основных при расчете

воздухообмена и составлении воздушного баланса и отражает частоту смены воздуха в этом помещении, определяется по формуле 1 [2].

$$K = \frac{L}{V} \quad (1)$$

где K – кратность воздухообмена, ч^{-1} ; L – расход воздуха, поступающее в помещение за 1 час, $\text{м}^3/\text{ч}$; V – объем помещения, м^3 .

Значение данного параметра приведены стандартах. Кратность воздухообмена притока для стерильной и чистой зоны ЦСО должна быть не менее 10 ч^{-1} , а нормируемый воздухообмен в 1 час составляет 100% от рассчитанного, кратность вытяжки из этих зон не ниже 8 ч^{-1} , воздухообмен в час 80% от рассчитанного. Для грязной зоны значения притока и вытяжки приводятся наоборот. Это позволяет не допустить положительного перепада давления в помещении с более низким классом чистоты (Γ), а, следовательно, и распространения загрязнений в чистые помещения класса Б [3].

Другим важным фактором, от которого зависит соблюдение необходимого уровня микроклимата, является чистота поступающего в помещение воздуха. Воздушные фильтры подразделяются на классы в зависимости от степени очищения.

Система подготовки воздуха в ЦСО состоит из четырех ступеней. Первая ступень нужна для того, чтобы защитить внутренние элементы кондиционера и рассчитана на крупные загрязняющие частицы (пыль, пух, песок и т.д.). На данном этапе применяются фильтры грубой очистки класса G4. Вторая и третья ступени позволяют достичь требуемого уровня чистоты в воздуховодах. Для этих целей используются фильтры тонкой очистки F7 и F9 (F9 является последним элементом кондиционера). Финальная ступень устанавливается непосредственно перед входом воздуха в чистое помещение и представляет собой высокоэффективный (High Efficiency Particulate Absorption (HEPA)) фильтр класса H11 [2].

Особенностью центрального стерилизационного отделения является наличие оборудования проходного типа. Стерилизаторы и моечные машины устанавливаются между различными зонами и предотвращают пересечение грязных медицинских инструментов со стерильными. Загрузка моечных машин происходит через дверную систему с одной стороны в грязной зоне ЦСО, затем, медицинские изделия проходят процедуру обработки и выгружаются с другой стороны в чистой зоне. Стерилизаторы встраиваются между чистой и стерильной зоной и работают по такому же принципу.

Перечисленное оборудование обладает значительным тепловыделением, поэтому при проектировании ЦСО необходимо предусмотреть их компенсацию. Одним из способов является увеличение кратности воздухообмена. Значение увеличенного требуемого расхода воздуха в помещениях, где установлено оборудование, можно рассчитать по формуле 2.

$$L = \frac{Q \cdot 3600}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \quad (2)$$

где, L – требуемый расход воздуха при повышенном тепловыделении в помещении, м³/ч; Q – количество теплоты, которая выделяется в помещение, кВт/ч; $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха; $c=1,005 \text{ Дж/(кг*К)}$ – удельная теплоемкость воздуха; t_2 – температура воздуха, который удаляется из помещения вентиляцией, °С; t_1 – температура воздуха, который поступает в помещение, °С.

Значение расчётной повышенной кратности воздухообмена для компенсации тепловыделения в помещениях ЦСО в некоторых случаях может превышать значение кратности в палатах интенсивной терапии.

Исходя из всего вышесказанного, следует, что для сведения к минимуму рисков загрязнений медицинских изделий, проходящих очистку и стерилизацию в ЦСО необходимо четкое соблюдение всех требований к уровню микроклимата. Обеспечение требуемых параметров чистоты воздуха с учетом всех возможных загрязняющих факторов является главной задачей при проектировании ЦСО.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017. Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2017-10-18 / – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2017. – 35 с.

2. ГОСТ Р 56638-2015. Чистые помещения. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации : дата введения 2016-01-12 / – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2019. – 25 с.

3. СанПиН 2.1.3.2630-10 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность: издание официальное :утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18.05.2010 : введен 09.09.2010. – 176 с.

4. СанПиН СП 2.1.3678-20 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорт, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказани услуг: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 24.12.2020: введен 30.012.2020. Москва – 176 с.

5. Чистые помещения. Второе издание переработанное и дополненное / под редакцией А.Е. Федотова, – Москва: АСИНКОМ, 2003. – 576 с.

© Порошина О.А., 2024

УДК 616.71

Д.А. РОМАНОВ

defaultmyname@yandex.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **К.Р. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

АППАРАТЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ВИБРАЦИОННОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Аннотация: рассмотрен вопрос актуальности диагностики вибрационной болезни. Рассмотрены методы диагностики вибрационной болезни. Проведён анализ аппаратов для диагностики вибрационной болезни

Ключевые слова: вибрационная болезнь, вибрационная чувствительность, медицинские приборы, профессиональные заболевания.

Негативные факторы воздействия вибрации на сотрудников производств становится острым вопросом в связи с намерением форсирования индустриального развития нашего государства в течение ближайших лет. Здесь встаёт вопрос об ранней диагностике различных заболеваний, связанных с воздействием вибрации.

Вибрация является фактором с высокой биологической активностью. В зависимости от параметров вибрации (частота, интенсивность, способ передачи, время воздействия) она может оказывать различное влияние на здоровье человека. Так, например, известно, что у человека в сидячем положении, голова и поясница больше всего страдают от вибрации.

Кроме того, выяснилось, что остальные органы могут испытывать напряжение, приводящее к боли и усталости, в зависимости от силы вибрации. Особенно подвержены вибрации и её негативным последствиям сотрудники производств. Принято к виброопасным профессиям относить те области, в которых риск резкого скачка прогресса развития вибрационной болезни наиболее высок. К вышеупомянутым относят профессиональные группы наждачников, обрубщиков литья, шлифовщиков, заточников. Занятые в этих областях рабочие имеют латентный период развития вибрационной болезни сильно короче (составляет в среднем 8-12 лет), а частота случаев разительно высока и может достигать 30%. [1,2,3]

Вибрационная болезнь – профессиональное заболевание, при котором наблюдаются изменения сердечно-сосудистой и нервной систем, опорно-двигательного аппарата и обменных процессов. Известно, что после длительного воздействия вибрацией в тельцах Фатера-Пачини, которые являются основными рецепторами вибрации, могут развиваться глубокие и необратимые изменения. В 2023г. в группе профессиональных заболеваний,

связанных воздействием производственных физических факторов доля случаев вибрационной болезни составляет – 45,34%. [4]

Для диагностики вибрационной болезни зачастую назначают паллестезиометрию (вибротестирование) – метод исследования вибрационной чувствительности с помощью специального прибора, заключающей в локальном воздействии на человека вибрацией со строго определёнными пороговыми параметрами и выявлении у пациента реакции на неё.

В России популярность приобрели такие модели как:



Рис. 1. АНВЧ-01

АНВЧ-01 (анализатор вибрационной чувствительности) – прибор, созданный для исследования порогов вибрационной чувствительности поверхностей верхних и нижних конечностей человека путем генерации местной вибрации в диапазоне применяемых частот с различной интенсивностью и фиксацией получаемого результата. Характеристики вибростимулов, при которых биологический объект исследования даёт обратную связь (реакцию на вибростимулы), фиксируются и хранятся в памяти устройства. Процесс исследования и различные его параметры могут быть скорректированы и переданы на персональном компьютере (ПК) с установленным специальным программным обеспечением. 5]

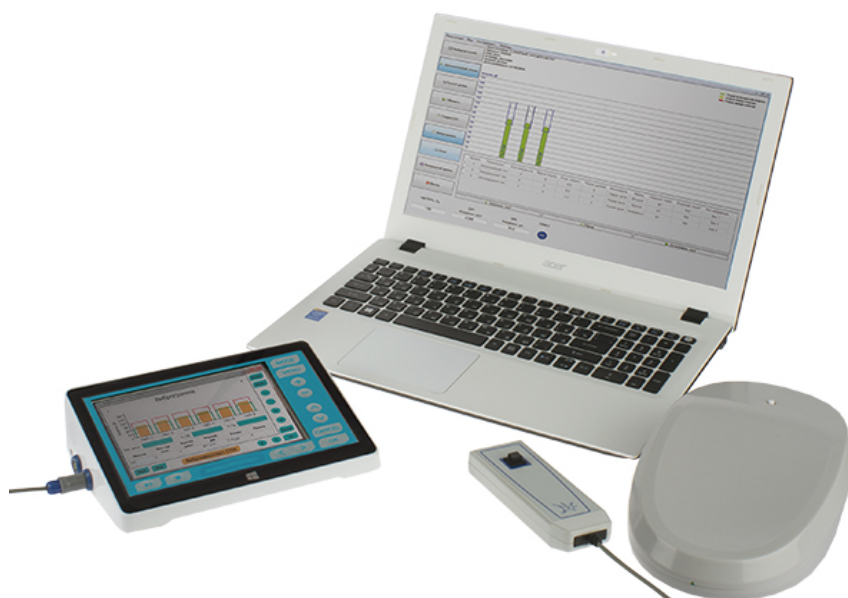


Рис. 2. Вибросенсотест

«Вибросенсотест» - современный медицинский переносный прибор для исследования порогов вибрационной чувствительности кожной поверхности. Данный прибор обладает современным методом исследования: компьютерной паллестезиометрией. Прибор «Вибросенсотест» является единственным серийно производимым переносным прибором для проведения паллестезиометрии в России в соответствии со стандартом ГОСТ Р ИСО 13091-1-2008. [6]



Рис. 3. VT-02-01

Для исследования количественных параметров вибрационной чувствительности во многих Российских медицинских учреждениях используется малые габаритные размеры. Он состоит из: блока питания, блока управления, вибратора на подставке, кнопки ответа пациента. Прибор имеет семь фиксированных значений частоты вибрации: 8, 16, 32, 63, 125, 250 и 500 Гц. [7]

На основе совокупности вышеуказанных сведений по приборам диагностики вибрационной чувствительности можно сделать вывод о необходимости разработки более современной модели прибора.

Библиографический список

1. Общая и военная гигиена: учебное пособие / В.Н. Бортновский, Л.П. Мамчиц, М.А. Чайковская, С.В. Климович. – Минск: Новое знание, 2018. – 520 с. – ISBN 978-985-475-972-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/109496> (дата обращения: 23.10.2024). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Вибрационная болезнь и меры по ее предупреждению [Текст]: учебное пособие / Федеральное бюджетное учреждение науки "Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека" [и др.]; [сост.: к. м. н. Шайхлисламова Э. Р. и др.]. - Уфа: Диалог, 2016. - 99 с.

3. Tavakol ME, Fatemi A, Karbalaie A. Nailfold Capillaroscopy in Rheumatic Diseases: Which Parameters Should Be Evaluated? Biomed Res Int 2015; 2015: 974530.

4. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2023 году», 2024г.

5. Паллестезиометр АНВЧ-01 [Электронный ресурс] URL: <https://belintelmed.com/ru/products/pallesteziometr-anvh-01/#1548334740704-e0e9db08-25f85fb1-18416ec7-d25f>

6. Паллестезиометр “Вибросенсотест” [Электронный ресурс] URL: <https://ivlabmed.ru/products/vibrosensotest-ustroystvo-dlya-issledovaniya-vibratsionnoy-chuvstvitelnosti-pallesteziometr/?ysclid=m3o3o26hu0916704493>

7. Паллестезиометр “ВТ-02-01” [Электронный ресурс] URL: <https://mbn.ru/blog/ctati/metodika-issledovaniya-vibracionnoj-chuvstvitelnosti-cheloveka-dlya-ruk-vibrotesterom-vt-02-1-vibrotester-mbn/>

© Романов Д.А., 2024

Н.В. РУЗАНОВА

nineli48@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Ю.О. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АППАРАТА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАН ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация: в настоящее время лечение ран является важным вопросом в хирургии. Одним из методов лечения является использование отрицательного давления, стимулирующего процесс заживления. В данной статье проведен патентный поиск существующих технических решений для реализации этого метода, проанализированы недостатки предлагаемых вариантов, разработана структурная схема аппарата для лечения ран отрицательным давлением и рассмотрен ее принцип работы.

Ключевые слова: аппарат вакуумной терапии, отрицательное давление, структурная схема.

Воздействие на рану отрицательным давлением – эффективный способ лечения, позволяющий регулировать уровень отрицательного давления, прикладываемый к ране, ускоряя процесс ее заживления.

Отрицательное давление используется в аппаратах и системах для лечения ран отрицательным давлением. Терапия обеспечивает отток экссудата из раневой поверхности и поддерживает необходимый уровень влажности вокруг раны. Применение аппарата показано для обширной группы пациентов, имеющих хронические раны, за исключением лиц с болезнями крови.

Прибор может использоваться как в больничных условиях (стационарные приборы), так и при лечении больного на дому (портативные варианты).

В России вакуумная терапия пока применяется не так часто. Согласно опросу хирургов, проводившемуся во время научно-медицинских конференций, использовать метод управляемого отрицательного давления выбирают около 5% опрошенных [1].

Непопулярность данного вида терапии объясняется несколькими факторами, тесно связанными друг с другом:

- отсутствие конкурентоспособных отечественных альтернатив оборудования, так как на данный момент разработки еще ведутся, а существующие аналоги уступают зарубежным по своему функциональному оснащению;

- иностранное производство влияет на логистику, а ввиду международной обстановки на данный момент и наложенных санкций, затрудняется процесс импорта;

- высокая стоимость оборудования ведет к отсутствию возможности оснащения им больничных учреждений.

Процесс лечения раны с использованием аппарата вакуумной терапии выглядит следующим образом:

1 этап – очищение. Рана промывается с использованием антисептических растворов, и производится удаление из нее отмерших тканей.

2 этап – наложение повязки. На рану накладывается губка из вспененного материала, сверху крепится пленка. Затем в ней проделывается отверстие, к которому подсоединяют дренажные трубки (одну – для подачи отрицательного давления, другую – для оттока экссудата из раны).

3 этап – терапия. Включают аппарат, после чего вакуумный насос начинает подачу управляемого отрицательного давления на рану, обеспечивая вокруг нее герметичную область, и забор воспалительной жидкости в специальный контейнер, закрепленный на корпусе аппарата. В процессе персоналу необходимо следить за частотой смены повязок и менять контейнер при его переполнении.

4 этап – окончание процедуры. Герметичная повязка снимается и заменяется на стерильную.

Целью данной работы является разработка структурной схемы аппарата для лечения ран отрицательным давлением.

Исследование патентных баз позволило найти три патентных решения, реализующих данную технологию лечения:

1. Первый вариант реализации технического средства – «Аппарат и метод лечения ран» [2].

Отличительной особенностью аппарата является 3D камера, датчик O_2 , датчик уровня кислотности экссудата и CO_2 ,

Устройство для лечения ран включает в себя вакуумный насос, управляемый контроллером. Контроллер соединен с сенсорной панелью и дисплеем и может отображать для пользователя множество опций меню на сенсорном экране. Пользователь может вводить команды ввода в контроллер с помощью сенсорной панели. Источник питания подает питание на контроллер и вакуумный насос. Вакуумный насос соединен с емкостью и герметичной повязкой на ране. Устройство для обработки ран состоит датчиков: O_2 , уровня кислотности экссудата и CO_2 , соединенные с контроллером. Датчик кислорода и датчик углекислого газа измеряют уровень насыщения кислородом и уровень насыщения углекислым газом по дренажной трубке, соединенной с повязкой. Датчик pH также измеряет pH жидкостей, дренируемых из раны через дренажную трубку. На основе заданных уровней и выходных сигналов датчиков контроллер может регулировать отрицательное давление, подаваемое вакуумным насосом на повязку, для поддержания уровня насыщения кислородом, уровня pH и/или уровня диоксида углерода. Трехмерная камера предназначена для съемки изображений раны, чтобы облегчить ее оценку. Камера передает изображения на контроллер, чтобы определить глубину, длину, ширину и цвет раны.

2. Второй вариант реализации технического средства – «Системы, устройства и способы лечения ран отрицательным давлением» [3].

Отличительной особенностью системы является пользовательский интерфейс и датчик давления.

Система для лечения ран отрицательным давлением включает в себя аспирационное устройство, сообщаемое с раневой повязкой и контейнером. Вакуумный узел может включать насос, источник питания, датчик давления, схему регулирования давления и узел клапана. Вместе эти компоненты вакуумного узла могут обеспечивать подачу отрицательного давления в желаемом терапевтическом диапазоне к повязке на рану 103 через соединительный узел и канистру. Контейнер может быть сконфигурирован для хранения экссудата, который аспирируется из раневого участка. Контейнер может быть закрыт крышкой. Вакуумная сборка может иметь электрическую связь с пользовательским интерфейсом.

3. Третий вариант реализации технического средства – «Системы и методы лечения ран распределенным отрицательным давлением» [4].

Отличительной особенностью системы управления являются датчики давления и разделение управления устройством на несколько контроллеров, контролируемых отдельные блоки.

Главный контроллер вместе с другими контроллерами или процессорами может хранить данные в памяти. Контроллер насоса может управлять работой насоса, который может создавать отрицательное или пониженное давление. Один или несколько контроллеров связи могут использовать один или несколько приемопередатчиков. Один или несколько приемопередатчиков 340 могут включать в себя одну или несколько антенн, оптические датчики, оптические передатчики, вибрационные двигатели или преобразователи, датчики вибрации, акустические датчики, ультразвуковые датчики и т.п. Могут использоваться один или несколько дополнительных процессоров, таких как процессор для управления одним или несколькими пользовательскими интерфейсами (например, одним или несколькими дисплеями).

Обнаруженные технические решения отличаются широким функционалом, позволяющим получить обширную информацию о процессе заживления раны и возможностью регулирования уровня отрицательного давления в ране.

Однако существующие запатентованные устройства не лишены недостатков. К ним относятся:

1. Недостаточная полнота информации об эффективности воздействия применяемого лечения из-за закрытия раны герметичной повязкой.

2. Недостаточные функциональные возможности для установления параметров лечения.

3. Невозможность передачи информации на внешние носители или ее визуальное представление.

4. Присутствие вероятностей сбоев в работе микроконтроллера ввиду повышенной нагрузки на него во время процедуры как анализом, так и хранением информации.
5. Ограничение радиуса передачи данных длиной кабеля.
6. Невозможность контроля за пациентом в удаленном формате.

На основании выявленных при патентном поиске недостатков была разработана структурная схема устройства для лечения ран отрицательным давлением. Структурная схема приведена на рисунке (рис. 4).

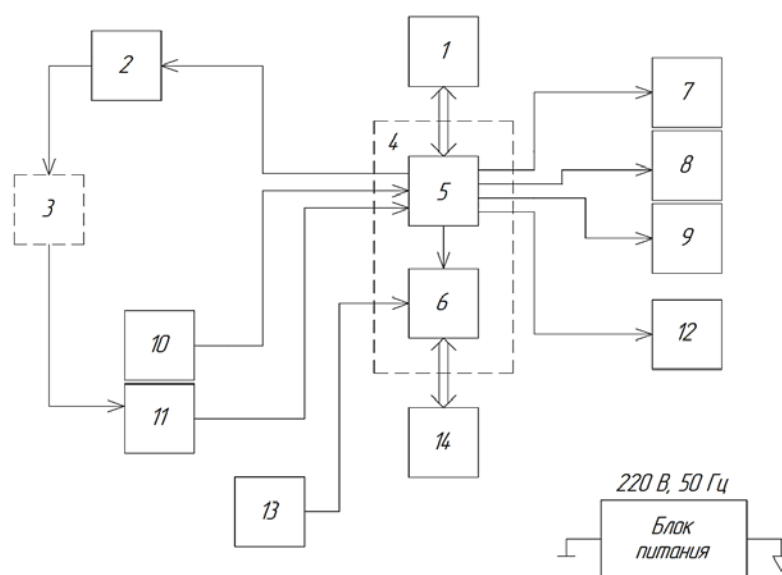


Рис. 4. Структурная схема устройства для лечения ран отрицательным давлением

Аппарат для лечения ран отрицательным давлением работает следующим образом [5]:

На рану накладывается повязка, обеспечивающая ее герметичность, к которой через систему дренажных трубок подключается аппарат и контейнер, собирающий инфицированную жидкость. С помощью таймера (1) происходит настройка параметров времени терапии. Основной микроконтроллер (5) посылает сигнал управления непосредственно для запуска процедуры на вакуумный насос (2), который начинает процесс оттока экссудата из раневого ложа в емкость, накапливающий экссудат (3). В ней установлен датчик, контролирующей уровень переполнения контейнера (11), который определяет уровень жидкости, и при превышении уровнем заданных пределов, подает

сигнал блоку управления (4). Датчик температуры (10) определяет изменение температуры пациента вблизи раневого ложа, и, в случае установления повышения параметра, подает сигнал блоку управления. Индикация реализована на светодиодах – переполнение (7) и температура (8), они загораются в момент получения сигнала от соответствующих индикаторам датчиков. Светодиод на индикаторе, сообщающем о работающем состоянии прибора (9), загорается при его подключении к сетевому напряжению. Блок звуковой индикации (12) подает сигнал в случае выхода из строя установленных параметров. Дополнительный микроконтроллер (6) отправляет управляющие сигналы или данные на блок ввода и вывода (14), реализующий собой модуль беспроводной передачи данных в виде Wi-Fi или Bluetooth передатчика для обмена информацией с внешним устройством, также на нем может храниться необходимая для работы прибора информация. Кнопка (13) обеспечивает связь с пациентом – нажатием на нее он может подать сигнал тревоги на внешнее устройство при возникновении неприятных ощущений. Блок питания обеспечивает работу устройства – подает необходимое сетевое напряжение.

Таким образом, был проведен патентный анализ технических решений устройства для лечения ран отрицательным давлением, выделен ряд патентных решений, реализующих данную методику лечения и выявлены недостатки существующих реализаций. Была разработана структурная схема аппарата для лечения ран отрицательным давлением, устраняющая заявленные недостатки.

Библиографический список

1. Привольнев В.В., Пасхалова Ю.С., Родин А.В., Митиш В.А. Местное лечение ран и раневой инфекции по результатам анонимного анкетирования хирургов России // Журнал им. проф. Б.М. Костюченка. 2016, № 3.
2. Harold L., inventor. Wound treatment apparatus and method. Canada patent CA2765419A1, 2009 June 15.
3. Sides M., Hutton R., Mccrea J., Fisher L., inventors. Negative pressure wound therapy systems, devices, and methods. United States patent WO2019157466A1, 2019 Feb 11t.
4. Quintanar F.C., inventor. Distributed negative pressure wound therapy systems and methods. United States patent WO2023194205A1, 2023 March 30.
5. Рузанова Н.В., Уразбахтина К.Р.; Уфимский университет науки и технологий. Устройство для лечения ран отрицательным давлением. Патент России № RU226410U1 РФ. 16.02.2024. Бюл. №16

© Рузанова Н.В., 2024

Н.В. РУЗАНОВА

nineli48@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Ю.О. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АППАРАТОВ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАН ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация: одной из основных проблем в хирургии является заживление ран. Возникновение воспаления мягких тканей может привести к развитию сепсиса, поэтому для предотвращения развития инфекции используются аппараты для лечения ран с помощью отрицательного давления. В статье рассмотрены основные аналоги, присутствующие на мировом рынке и проведен их сравнительный анализ.

Ключевые слова: аппарат вакуумной терапии, отрицательное давление.

Аппарат для лечения ран отрицательным давлением – прибор, использующий метод вакуумной терапии с применением отрицательного давления для лечения пациента. Он используется в случае наличия у больного острых и хронических ран, ожогов, пролежней и трофических язв.

Устройство обеспечивает отток экссудата из раневой поверхности, поддерживает влажную среду вокруг раны, увеличивает скорость кровотока вокруг, способствуя ускорению процесса регенерации тканей и сводя к минимуму риск попадания инфекции и развитие осложнений [1, с. 37].

Прибор применяется как на стационарном лечении в больницах, так и может использоваться в домашних условиях, если речь идет о портативных вариантах.

На сегодняшний день на мировом рынке представлены аппараты иностранного производства, причем на отечественном рынке выбор даже их весьма ограничен. Аппараты российского производства на данный момент во многом уступают своим зарубежным аналогам, поэтому пока находятся в стадии совершенствования. По этой причине рассмотрим только модели зарубежных производителей, которых достаточное количество, чтобы выбор необходимого варианта был трудной задачей. Выделим из всего многообразия наиболее популярные устройства: терапевтическая система для лечения ран отрицательным давлением V.A.C. Ultra 4 производства компании KCI 3M (США), аппарат для лечения ран отрицательным давлением RENASYS EZ MAX производства компании Smit&Nephew (США), система для терапии ран отрицательным давлением Invia Liberty производства компании Medela (Швейцария). Рассмотрим их более подробно:

1. Аппарат для лечения ран отрицательным давлением RENASYS EZ MAX - вакуумный насос, создающий отрицательное давление в раневом ложе и обеспечивающий отток экссудата в отдельный контейнер, благодаря чему рана заживает быстрее [2]. В приборе предусмотрено два режима работы для контроля создаваемого давления. Внешний вид аппарата представлен на рисунке (рис. 1):



Рис. 1. Внешний вид аппарата RENASYS EZ MAX

Технические характеристики прибора представлены в таблице (табл. 1):

Таблица 1

Технические характеристики прибора RENASYS EZ MAX

Характеристика	Значение
Режим работы	Непрерывный/Прерывистый
Свободный расход воздуха, л/мин	Не менее 11,0
Диапазон давлений, мм.рт.ст.	-40...-200
Наличие тревожной сигнализации	Есть
Напряжение питания, В	100-240
Частота сети питания, Гц	50-60
Количество емкостей для сбора экссудата, шт.	2
Емкость контейнеров для сбора экссудата, мл	250/800
Непрерывное время работа батареи: при 200 мм.рт.ст., час	18
при 80–120 мм.рт.ст., час	30–50
Тип батареи	Литий-ионный
Напряжение батареи, В	11,1
Емкость батареи, мА*ч	6600
Размеры, мм	361*240*200
Масса, кг	3,7
Срок службы, лет	Не менее 5

Выделим преимущества прибора:

- полностью заряженная батарея обеспечивает до 40 часов непрерывной работы;
- автоматическая перенастройка работы прибора при наличии небольшой воздушной утечки, благодаря высокой скорости потока экссудативной жидкости.

2. Система терапии ран отрицательным давлением Invia Liberty - насос, регулирующий подачу диапазона отрицательного давления. Конструкцией устройства предусмотрено два режима работы и система мониторинга параметров [3]. Внешний вид аппарата представлен на рисунке (рис. 2):

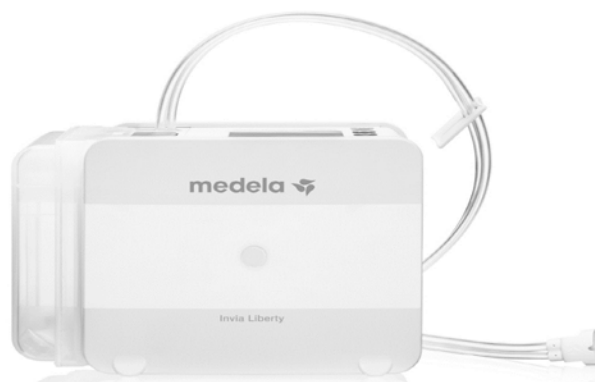


Рис. 2. Внешний вид аппарата Invia Liberty

Выделим преимущества прибора:

- емкости для сбора экссудата оснащены гелеобразующим веществом, минимизирующим риск роста бактерий;
- встроенный индикатор, срабатывающий в случае воздушной утечки;

Технические характеристики прибора представлены в таблице (табл. 2):

Технические характеристики прибора Invia Liberty

Характеристика	Значение
Режим работы	Непрерывный/Прерывистый
Диапазон давлений, мм.рт.ст.	-60...-200
Свободный расход воздуха, л/мин	5,0
Наличие тревожной сигнализации	Есть
Напряжение питания, В	100-240
Частота сети питания, Гц	47-63
Количество емкостей для сбора экссудата, шт.	2
Емкость контейнеров для сбора экссудата, мл	300/800
Непрерывное время работа батареи, час	14
Напряжение батареи, В	12,0
Размеры, мм	150*170*95
Масса, кг	1,0
Срок службы, лет	Не менее 2

3. Терапевтическая система V.A.C. Ultra 4 - насос, обеспечивающий установление значения отрицательного давления [4]. Аппарат может работать в четырех режимах работы: обычный режим, режим для местного орошения ран и суспензий над ложем раны, режим для лечения хирургических разрезов, режим для лечения ран на открытом животе.

Внешний вид аппарата представлен на рисунке (рис. 3):



Рис. 3. Внешний вид аппарата V.A.C. Ultra 4

Технические характеристики прибора представлены в таблице (табл. 3):

Таблица 3

Технические характеристики прибора V.A.C. Ultra 4

Характеристика	Значение
Режимы работы, шт.	4
Диапазон давлений, мм.рт.ст.	-25...-200
Наличие тревожной сигнализации	Есть
Напряжение питания, В	100-240
Частота сети питания, Гц	50-60
Количество емкостей для сбора экссудата, шт.	2
Емкость контейнеров для сбора экссудата, мл	500/1000
Непрерывное время работы батарей, час	6
Размеры, мм	217*260*191
Масса, кг	3,35
Срок службы, лет	До 5

Выделим преимущества прибора:

- цветной ЖК-дисплей;
- наличие блокировки параметров терапии для обеспечения безопасности пациента.

Технические характеристики всех моделей для большей наглядности оформим в таблицу (табл. 4):

Сравнительная таблица технических характеристик

Характеристика	RENASYS EZ MAX	Invia Liberty	V.A.C. Ultra 4
Количество режимов работы	2	2	4
Диапазон давлений, мм.рт.ст.	-40...-200	-60...-200	-25...-200
Наличие тревожной сигнализации	Есть	Есть	Есть
Напряжение питания, В	100-240	100-240	100-240
Частота сети питания, Гц	50-60	47-63	50-60
Количество емкостей для сбора экссудата, шт.	2	2	2
Емкость контейнеров для сбора экссудата, мл	250/800	300/800	500/1000
Непрерывное время работа батареи, час	18	14	6
Размеры, мм	361*240*200	150*170*95	217*260*191
Масса, кг	3,7	1,0	3,35
Срок службы, лет	Не менее 5	Не менее 2	До 5
Стоимость, тыс. руб.	600-700	300-400	800-1000

Таким образом, на основании сравнения характеристик, оптимальным вариантом по соотношению цена/качество является аппарат RENASYS EZ MAX. Согласно техническим характеристикам, это устройство может дольше работать без подключения к сети электропитания, что немаловажно для использования его за пределами лечебного учреждения в случае лечения пациента на дому или в случае применения его в новых регионах с возможными проблемами с подачей электросети, имеет большой диапазон разрежения, для данного устройства являющийся основным параметром, и обладает длительным сроком службы, позволяя лечебному учреждению экономить на смене оборудования и переводить эти деньги на закупку расходных материалов к нему или на другие нужды.

Библиографический список

1. Bishop A. Negative pressure wound therapy for treating diabetic foot ulcers. *Diabetic Foot Journal*, 2020. P. 36-41.
2. Эксплуатационная документация медицинского изделия RENASYS EZ MAX [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://atex-gr.com/wp-content/uploads/2022/10/Renasys-EZ-MAX.pdf> (дата обращения: 28.11.2023).
3. Instructions for use of the device "Invia Liberty" for doctors [Электронный ресурс]: – Режим доступа: [https://www.premiermpi.com/Images/Liberty % Clinican % Instruction % 20Manual.pdf](https://www.premiermpi.com/Images/Liberty%20Clinican%20Instruction%20Manual.pdf) (дата обращения: 28.11.2023).
4. User manual of the device V.A.C. Ultra 4 [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://www.acelity.com/-/media/Proect/Acelity/Acelity-Base-Sites/shared/PDF/418443a-mnl-activac-user.pdf> (дата обращения: 27.11.2023).

А.Р. САБИТОВ

aivazsabitov3@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. кафедры биомедицинской инженерии
Э.Ю. АБДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ ВИДЫ ХРОМАТОГРАФИИ В МЕДИЦИНЕ

Аннотация: в работе рассматриваются современные виды хроматографии, применяемые в медицине: жидкостная, газовая, аффинная, ионообменная и другие. Проанализированы их преимущества и недостатки, а также возможности использования в диагностике, биохимических исследованиях и разработке лекарств. Особое внимание уделено роли хроматографии в изучении биомолекул и её значении для современной медицины.

Ключевые слова: жидкостная хроматография высокого давления (ВЭЖХ), Газовая хроматография (ГХ), Ионная хроматография, Аффинная хроматография, Хроматография в сочетании с масс-спектрометрией, биомаркеры, УФ-детекция.

Введение:

В последние десятилетия развитие хроматографии сопровождалось внедрением высокоэффективных технологий, таких как жидкостная хроматография высокого давления (ВЭЖХ) и масс-спектрометрия, что позволило существенно расширить возможности анализа биологических образцов. Газовая хроматография, ионная хроматография и аффинная хроматография также получили широкое применение благодаря своей специфичности и способности к высокоточному анализу сложных биоматриц. Эти методы позволяют выявлять и количественно определять биомаркеры заболеваний, анализировать метаболические профили и оценивать фармакокинетические параметры препаратов.

Настоящая статья посвящена обзору современных видов хроматографии и их роли в медицине. Особое внимание уделено применению хроматографических методов для диагностики заболеваний, мониторинга состояния пациентов и разработки новых терапевтических стратегий. Целью исследования является анализ преимуществ и ограничений каждого метода, а также рассмотрение их вклада в развитие персонализированной медицины и повышение качества диагностики и лечения.

Материалы и методы

Для выполнения исследования по современным видам хроматографии в медицине используются следующие виды:

1. Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) с УФ-детектором и масс-спектрометрическим детектором позволяющий определить точной идентификации концентрации различных компонентов в веществах. Биологические образцы собираются в стерильные контейнеры.

Перед анализом образцы центрифугировались при 5000 об/мин в течение 15 минут для удаления клеточных фракций. После центрифугирования супернатант фильтровали через 0,45 мкм фильтры для удаления мелких частиц. В образцы добавлялся внутренний стандарт (например, кофеин) для контроля точности количественного анализа.

1) Хроматографический анализ (ВЭЖХ) анализ проводится на реверс-фазной колонке – это удаления анализируемых веществ из адсорбента путем пропускания растворителя при температуре 35°C. Фаза А состояла из воды с 0,1 % муравьиной кислоты, а фаза В – из ацетонитрила с 0,1% муравьиной кислоты. Градиентная элюция: проводится от 10 % фазы В до 90 % за 20 минут, затем происходит возврат к начальным условиям за 10 минут.

Скорость потока поддерживалась на уровне 1 мл/мин.

2) УФ-детекция выполняется при длине волны 254нм для общего мониторинга соединений. Для количественного анализа использовалась программа (ChemStation). Построение калибровочных кривых выполняется на основе стандартных растворов.

2. Газовая хроматография (ГХ) с детектором пламенной ионизации и масс-спектрометром. Образцы испаряются при температуре 40°C под потоком азота. Некоторые образцы подвергались дериватизации с использованием универсальных реагентов для повышения летучести.

1) Анализ проводится на капиллярной колонке с неподвижной фазой DB-5. Применяется температурный градиент от 60°C до 300°C со скоростью нагрева 10°C/мин. Скорость потока газа-носителя (гелий) составляла 1,2 мл/мин. Для анализа данных использовалась программа (Chromeleon) с построением кривых удерживания.

3. Ионообменная хроматография с УФ-детектором и проводимостью

Образцы растворяются в буфере с рН 7,4 для поддержания зарядов молекул.

В раствор добавляют контрольный стандарт для обеспечения воспроизводимости результатов.

Применяется катионообменная колонка с полимерной матрицей для умягчения. Градиентная вымывание проводилась от низкосолевого буфера до буфера высокой концентрации. Скорость потока составляет 0,8 мл/мин при температуре 25°C. Выявление осуществляется с помощью УФ-детектора на длине волны 214 нм.

3. Аффинная хроматография это метод анализа, разделения, очистки и выделения биологически активных веществ

1) Подготовка образцов: елковые растворы готовились из сыворотки крови. Перед загрузкой на колонку, образцы фильтровали через 0,22 мкм фильтр.

При анализе использовалась колонка с иммобилизованными антителами для специфичного связывания мишеней.

вымывание выполнялась с помощью буфера с рН 2,8 для разрыва связываний.

Собранные фракции анализировались с помощью УФ-детектора при 280 нм.

4. Тонкослойная хроматография (ТСХ) состоящая из пластинок силикагеля с флуоресцентным индикатором для визуализации результатов

1) Подготовка: образцы растворяют в этаноле и наносят на линию старта с помощью микропипетки. Пластинка сушится в течение 5 минут перед началом анализа.

2) Хроматографический анализ:

Пластинка помещается в камеру для ТСХ с растворителем (гексан:ацетон, 7:3). Когда фронт растворителя достигал 80 % высоты пластинки, пластинку удаляют и сушат. Результаты визуализируются под ультрафиолетовым светом при 254 и 366 нм.

Результаты

В ходе исследования были проанализированы различные современные методы хроматографии, применяемые в медицине и представлены в таблице 1

Таблица 1

Преимущества и недостатки хроматографии в медицине

Виды хроматографов	Преимущества	Недостатки
Жидкостная хроматография высокого давления (ВЭЖХ)	Высокая чувствительность и точность, возможность анализа сложных биологических образцов, широкий спектр используемых фаз	Высокая стоимость оборудования, необходимость сложной подготовки образцов, требовательность к чистоте реагентов
Газовая хроматография (ГХ):	Высокая точность и повторяемость, быстрое разделение летучих веществ, возможность использования масс-спектрометрии для идентификации соединений	Не подходит для нелетучих и термолабильных веществ, необходимость дериватизации некоторых образцов, требуются инертные газы.

Ионная хроматография	Высокая чувствительность к ионным соединениям, возможность анализа сложных матриц, быстрая и эффективная подготовка проб.	Ограничена анализом только заряженных молекул, требует специфического оборудования и реагентов, возможны помехи от других ионов в сложных образцах.
Афинная хроматография	Высокая специфичность и селективность, возможность очищения целевых молекул из сложных матриц, подходит для крупномасштабной	Требует специфических лигандов, возможна потеря активности молекул при элюции, высокая стоимость колонок и реагентов
Хроматография в сочетании с масс-спектрометрией	Очень высокая чувствительность и точность, возможность идентификации неизвестных соединений, универсальность применения для различных молекул.	Высокая стоимость оборудования, сложность интерпретации данных, необходимость сложной подготовки образцов

Современные методы позволяют обнаруживать и количественно определять даже низкие концентрации веществ в сложных биологических матрицах.

Заключение

Современные хроматографические методы играют ключевую роль в медицине, обеспечивая высокую точность и чувствительность при анализе сложных биологических образцов. В данной работе были рассмотрены и проанализированы такие методы, как жидкостная хроматография высокого давления (ВЭЖХ), газовая хроматография (ГХ), ионная и афинная хроматография, а также комбинированные методы с масс-спектрометрией. Полученные результаты показывают, что каждый метод имеет свои уникальные преимущества: от точного анализа белков и метаболитов до идентификации биомаркеров заболеваний. Эти технологии позволяют глубже понять молекулярные механизмы заболеваний и разработать новые подходы к диагностике и лечению.

Библиографический список

1. Хроматографические методы разделения веществ... [Электронный ресурс] // studfile.net - Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6831651/page:42/>, (дата обращения: 01.11.2024)
2. Отчет об объеме и доле рынка мембранной хроматографии... [Электронный ресурс] // www.kingsresearch.com, (дата обращения: 28.10.2024)

3. Применение хроматографических методов для диагностики... // cyberleninka.ru - Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-hromatograficheskikh-metodov-dlya-diagnostiki-sistemnogo-vozpалeniya>, (дата обращения: 01.11.2024)

4. Достоинства, недостатки и возможности хроматографического... [Электронный ресурс] // studfile.net - Режим доступа: <https://studfile.net/preview/9775525/page:2/>, (дата обращения: 27.10.2024)

© Сабитов А.Р., 2024

А.Р. САДЫКОВ

bsg.b@mail.ru

Науч. руковод – канд. техн. наук, доцент **Р.Д. АГЗАМОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В БИМЕДИЦИНСКОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Аннотация: в данной статье были рассмотрены концепции цифровых двойников и их применение в биомедицинской инженерии. Они представляют собой виртуальные модели, которые точно отражают физические объекты или системы, что позволяет улучшить диагностику и лечение. Рассмотрены преимущества и сложности в реализации данной технологии.

Ключевые слова: цифровой двойник, биомедицинская инженерия, медицина, эффективность лечения, моделирование.

Введение

Цифровой двойник – это виртуальная модель, которая точно отражает физический объект или систему. В последние годы концепция цифровых двойников находит все более широкое применение в различных областях, включая биомедицинскую инженерию. В данной статье будут рассмотрены вопросы о том, что такое цифровой двойник, его применение в медицине, преимущества и вызовы, с которыми сталкивается эта технология.

Объект исследования

В качестве объекта исследования в контексте цифровых двойников является человеческий организм.

Изучаются различные органы, системы и их взаимодействия, что позволяет создать индивидуальные модели пациентов для персонализированного лечения и мониторинга состояния.

Результаты исследования и их обсуждение

Цифровые двойники (далее ЦД) позволяют создавать индивидуальные модели пациентов на основе их медицинских данных, таких как генетическая информация, результаты анализов и медицинская история. Это позволит врачам разрабатывать персонализированные планы лечения, которые будут учитывать особенности конкретного пациента.

С помощью ЦД хирурги смогут тренироваться на виртуальных моделях, что снизит риск ошибок в условиях реальных операций. Такие симуляции позволят отрабатывать сложные техники и планировать операции с учетом анатомических особенностей пациента.

В России опрос компании «Этнамед» среди 756 авторитетных врачей показал, что лишь пятая часть диагнозов первоначально ставиться абсолютно

верно. Около 60% диагнозов нуждались в уточнении, а 20% были поставлены неправильно. Однако, по ряду заболеваний уровень некорректных диагнозов еще выше. Ошибки в лечении, которые привели к смерти, имели место в 0,7% случаев.

ЦД могут быть использованы для выявления, моделирования и прогнозирования развития различных заболеваний и процессов в организме, что поможет лучше понять механизмы их возникновения, прогрессирования и сведений врачебных ошибок в выявлении диагноза к 0%. В свою очередь это может привести к разработке новых и уникальных методов диагностики и лечения.

В биомедицинской инженерии ЦД помогут в проектировании и тестировании новых медицинских устройств. Они позволят оценить эффективность и безопасность устройств еще до их создания, что значительно сокращает время и затраты на их разработку.

Преимуществами ЦД являются:

1. Улучшение качества лечения;
2. Снижение рисков, связанные с хирургическими вмешательствами;
3. Оптимизация процессов разработки медицинских устройств;
4. Углубленное понимание заболеваний.

Несмотря на множество преимуществ использование ЦД в биомедицинской инженерии сталкивается с рядом сложностей.

Создание точных моделей требует значительных вычислительных ресурсов и сложных алгоритмов. В перспективе это использование искусственного интеллекта. Это влечет за собой необходимость создания больших серверов с данными пациентов, что может быть проблематичным из-за конфиденциальности и правовых аспектов.

Интеграция ЦД в клиническую практику может быть сложной задачей, требующей изменений в инфраструктуре и обучении персонала. Потребуется создание новых программных обеспечений и приложений для максимально эффективной работы ЦД.

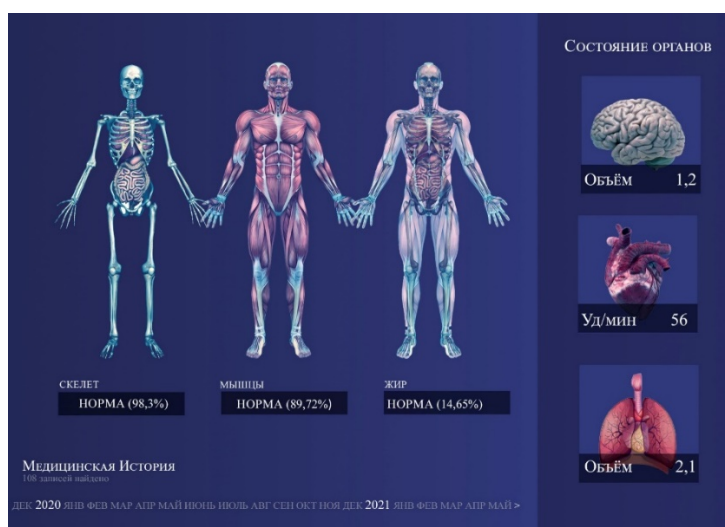


Рис. 1. Интерфейс программы для использования цифровых двойников

В настоящее время в мире не хватает рентгенологов, что рассматривать МРТ всего тела в масштабах населения. Необходимо создание базовой модели искусственного интеллекта для автоматического анализа снимков, получения количественных данных и оценки рисков. ИИ позволит распределять снимки, требующие просмотра человеком, между соответствующими рентгенологами, чтобы оптимально использовать их время и ресурсы.

Мониторинг состояния организма в реальном времени может проводиться благодаря использованию “умных” устройств. Уже в настоящее время существуют электронные часы, которые собирают такую информацию как: пульс, % кислорода в крови, % мышечной и жировой ткани, уровень стресса, фазы сна, данные ЭКГ. Данные устройства доступны повсеместно, что делает создание моделей цифровых двойников более простым и лёгким.

Вывод

В данной статье было рассмотрено множество аспектов применения цифровых двойников в биомедицинской инженерии.

Они представляют собой мощный инструмент, открывающие новые горизонты для развития медицины, разработки медицинских устройств и исследования заболеваний.

Несмотря на существующие вызовы, потенциал этой технологии продолжает расти, что делает ее важной частью будущего медицины.

Библиографический список

1. Raghavan, R. The Role of Digital Twins in Personalized Medicine [Текст] / R. Raghavan, S. K. Gupta // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 2021. – V. 68. – P. 1234-1245.
2. Zhang, Y. Applications of Digital Twin Technology in Medical Devices [Текст] / Y. Zhang, L. Chen, H. Wang // Med. Eng. Phys. – 2022. – V. 104. – P. 45-56

© Садыков А.Р., 2024

Е.Р. САЛМИЯНОВА

gerd01@list.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Е.С. МОРОЗОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ШОКОВЫХ РИТМОВ СЕРДЦА: ОСНОВЫ, МЕТОДЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

Аннотация: алгоритмы детекции шоковых ритмов сердца играют ключевую роль в диагностике и лечении угрожающих жизни состояний, таких как фибрилляция желудочков и желудочковая тахикардия. В статье рассматриваются основные принципы работы алгоритмов, методы анализа электрокардиографических сигналов и их применение в автоматических внешних дефибрилляторах.

Ключевые слова: автоматический внешний дефибриллятор, желудочковая тахикардия, фибрилляция желудочков, электрокардиограмма, алгоритм, детекция.

Шоковые ритмы сердца, включая фибрилляцию желудочков (ФЖ) и желудочковую тахикардию (ЖТ), представляют серьезную угрозу жизни пациента из-за высокой вероятности остановки кровообращения. Оперативная и точная идентификация таких ритмов играет критически важную роль в обеспечении эффективной неотложной помощи. За последние десятилетия разработка алгоритмов распознавания шоковых ритмов значительно повысила результативность работы автоматических внешних дефибрилляторов (АВД) и систем мониторинга сердечной деятельности.

Настоящая статья посвящена анализу принципов функционирования данных алгоритмов, применяемых методов обработки электрокардиограмм (ЭКГ) и их значимости в клинической практике

Основы алгоритмов распознавания шоковых ритмов

Детекция шоковых ритмов основана на обработке и анализе ЭКГ-сигнала, отличающегося высокой сложностью и нелинейностью. Основная задача алгоритмов состоит в дифференциации шоковых ритмов от нешоковых. Для этого проводится оценка ключевых параметров:

— Частота сердечных сокращений (ЧСС): для шоковых ритмов характерна высокая ЧСС, превышающая 150–200 ударов в минуту.

— Регулярность сигнала: ЖТ имеет упорядоченную структуру, в то время как ФЖ характеризуется хаотичными колебаниями.

— Амплитудные показатели: Для ФЖ свойственен низкоамплитудный сигнал, а ЖТ обычно проявляется высокоамплитудными регулярными пиками.

— Спектральные свойства: Эти параметры позволяют дополнительно классифицировать сигнал на основе частотного распределения и энергетической плотности.

Алгоритмы включают следующие этапы обработки сигнала:

Предварительная обработка: на этом этапе устраняются шумы, вызванные мышечной активностью, электромагнитными помехами и движениями пациента. Применяются адаптивные фильтры, а также высоко- и низкочастотная фильтрация.

Извлечение характеристик: из обработанного сигнала выделяются параметры, свидетельствующие о шоковом ритме, такие как высокая ЧСС, нарушение структуры QRS-комплекса, хаотичность ритма и общая нестабильность.

Классификация ритмов: на основе выделенных характеристик принимается решение о типе ритма с помощью пороговых методов, математического моделирования или алгоритмов машинного обучения.

Современные методы анализа шоковых ритмов

Разнообразие подходов к анализу ЭКГ-сигнала позволяет адаптировать алгоритмы к различным клиническим условиям. Среди наиболее распространенных методов:

— Временной анализ: прямой анализ амплитудно-временных параметров, таких как средняя амплитуда сигнала или степень его регулярности.

— Частотный анализ: спектральное представление сигнала позволяет выявить низкочастотные доминирующие компоненты, характерные для ФЖ.

— Нелинейные методы: для оценки хаотичности применяются такие показатели, как энтропия, фрактальная размерность и другие метрики беспорядка.

— Алгоритмы машинного обучения: современные технологии, включая нейронные сети, используют обучающие выборки для автоматической классификации сложных паттернов.

Преимущества и трудности алгоритмов

Современные алгоритмы значительно повысили эффективность распознавания шоковых ритмов, однако остаются определенные вызовы:

Шумы и артефакты: ЭКГ-сигналы подвержены различным искажениям, особенно в сложных условиях.

Ложноположительные результаты: Ошибочная классификация нешоковых ритмов как шоковых может привести к ненужному разряду дефибриллятора.

Индивидуальные особенности: Сердечный ритм пациентов существенно варьируется, что требует адаптации алгоритмов.

Заключение

Разработка алгоритмов распознавания шоковых ритмов сердца остается важным направлением медицинских исследований, обеспечивающим своевременную диагностику и лечение угрожающих жизни состояний. Современные исследования в области детекции шоковых ритмов сосредоточены на интеграции алгоритмов с интеллектуальными медицинскими устройствами и облачными платформами. Одним из перспективных направлений является использование комбинированных подходов, объединяющих временной, частотный и нелинейный анализ с алгоритмами глубокого обучения. Такие гибридные системы способны улучшить точность и адаптивность диагностики, учитывая динамические изменения сердечной активности в реальном времени.

Дополнительно разрабатываются алгоритмы, оптимизированные для мобильных устройств и носимой электроники, что открывает возможности для дистанционного мониторинга состояния пациентов. Эти инновации в перспективе позволят создавать системы раннего предупреждения, которые обеспечат более быструю реакцию на опасные ритмы сердца и увеличат шансы на успешное спасение жизни.

Библиографический список

1. Тхакор Н.В., Чжу Ю.-С. Применение адаптивной фильтрации для анализа ЭКГ: устранение шума и обнаружение аритмий // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1991. Т. 38, № 8. С. 785–794.
2. Клиффорд Г.Д., Асуахе Ф., МакШарри П. Расширенные методы и инструменты для анализа данных ЭКГ. Бостон: Artech House, 2006.
3. Ху Ю., Томпкинс В. Дж. Алгоритм обнаружения QRS-комплексов в режиме реального времени // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. 1985. Т. 32, № 3. С. 230–236.
4. Минчале А., Родригес Б. Искусственный интеллект для анализа электрокардиограммы // *Nature Medicine*. 2019. Т. 25, № 1. С. 22–23.
5. Нолан Дж. П. и др. Современные достижения в использовании автоматических внешних дефибрилляторов // *Resuscitation*. 2014. Т. 85, № 10. С. 1359–1366.

6. Ачарья У.Р. и др. Автоматическая диагностика аритмий с использованием различных интервалов тахикардии на сегментах ЭКГ с помощью сверточных нейронных сетей // *Information Sciences*. 2017. Т. 405. С. 81–90.

7. Ли Ц., Раджагопалан С., Клиффорд Г.Д. Подход машинного обучения к многоуровневой классификации качества сигнала ЭКГ // *Computer Methods and Programs in Biomedicine*. 2014. Т. 117, № 3. С. 435–447.

8. Голдбергер А.Л. и др. Фрактальная динамика в физиологии: изменения при заболеваниях и старении // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2002. Т. 99 (доп. вып. 1). С. 2466–2472.

9. Чжэн Ц. и др. Обзор методов обработки сигналов для оценки качества электрокардиограммы // *IEEE Access*. 2020. Т. 8. С. 61114–61136.

© Салмиянова Е.Р., 2024

УДК 614.2

А.Р. САФИУЛЛИН

arsen-safiullin@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **К.Р. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В МЕДИЦИНСКИЕ ОРГАНИЗАЦИИ

Аннотация: в данной статье рассматривается технология бережливого производства и её применение в Медицинских организациях. Также инструменты, способствующие процессу моделирования применения «бережливых технологий».

Ключевые слова: бережливое производство, бережливая поликлиника, AnyLogic.

На сегодняшний день услугами медицинских организаций (МО) регулярно пользуются все люди без исключения. Так, например, ребёнок самого рождения проходит первичный осмотр, для оценки его жизненно важных функций и физических показателей и далее наблюдается ежемесячно; взрослые ежегодно проходят медосмотр для раннего выявления каких-либо болезней. Любому человеку может понадобиться срочная медицинская помощь, в связи с непредвиденными обстоятельствами. Так же необходимо учесть то, что услугами МО пользуются, в том числе и люди с ограниченными возможностями, для которых посещение поликлиники может оказаться большой трудностью. Таким образом, медицинская помощь пользуется большим ежедневным спросом, который нужно качественно удовлетворить в кратчайшие сроки.

Однако работа (МО) имеет множество недостатков, из которых исходят проблемы, такие как [1]:

1. Неоправданная затрата времени (по причине долгого время ожидания врача; ожидания результатов исследования; ожидания в ходе различных исследований и консультация);
2. Недостаточная доступность различных методов исследования;
3. Чрезмерно частое посещение поликлиник пациентами для выполнения отдельных исследований.

Решением данных проблем может послужить концепция «бережливая поликлиника», основанная на более общей концепции «бережливое производство». Бережливое производство – это концепция управления процессами производства и всеми её касающимися факторами. Главная цель состоит в том, чтобы создать эффективную систему производства с помощью исключения издержек (материальных и временных), оптимизации рабочего

пространства и поднятия командного духа рабочего коллектива. Такой подход к управлению производством позволяет повысить свою конкурентоспособность и повысить качество предоставляемых услуг или продуктов. Концепция Бережливое производство в МО – концепция, направленная на повышение качества медицинских услуг; оптимизацию рабочего пространства медицинского персонала и повышение их производительности труда; сокращение времени принятия пациентов.

Основной целью бережливой поликлиники является [3]:

1. Повышение доступности диагностических методов исследования для пациентов и повышение их уровня удовлетворённости;
2. Усовершенствование эргономику поликлиники с целью уменьшения затрат времени на ходьбу или поиск чего-то;
3. Равномерное распределение обязанностей между сотрудниками;
4. Эффективное использование пространства МО;
5. Формирование рационального распределения пациентов по кабинетам в зависимости от цели посещения МО;
6. Переход и использование электронной медицинской карты пациентов;
7. Использование единой медицинской базы данных;
8. Формирование навыков сотрудников МО по соблюдению концепции бережливой поликлиники.

Большинство идей для решения данных проблем можно проверить с помощью моделирования в отечественной программе AnyLogic. Пакет AnyLogic – отечественная профессиональная программа (инструмент для концепции бережливой поликлиники), предназначенная для разработки и исследования имитационных моделей. Позволяет анализировать работы моделей с точки зрения времени или пространства.

На рис. 1 представлена в двумерном и трехмерном пространстве модель лечебно-профилактического учреждения с кабинетами: регистратуры, рентгена, физкабинета и ЭКГ. С помощью представленной модели можно посмотреть на эффективность функционирования лечебно-профилактического учреждения на протяжении от 1 секунды до неограниченного количества времени. Это позволяет проанализировать очереди в кабинеты и при необходимости усовершенствования вносить изменения.

На рисунке 2 представлена диаграмма процесса прохождения пациентами диагностических кабинетов и регистратуры.

Таким образом, с помощью программы AnyLogic можно смоделировать МО и создать имитационную модель прохождения пациентами необходимых кабинетов. Что позволяет применять идеи концепции бережливой поликлиники и наблюдать, как они изменяют работу МО.

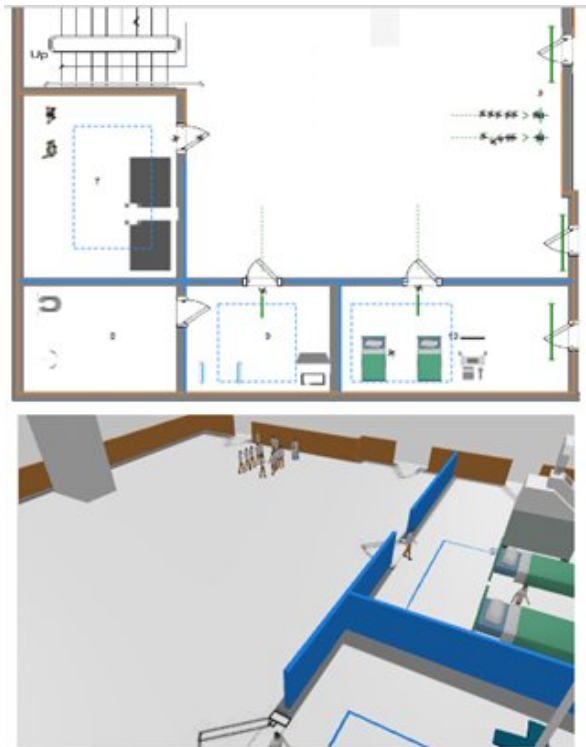


Рис. 11. Модель лечебно-профилактического учреждения

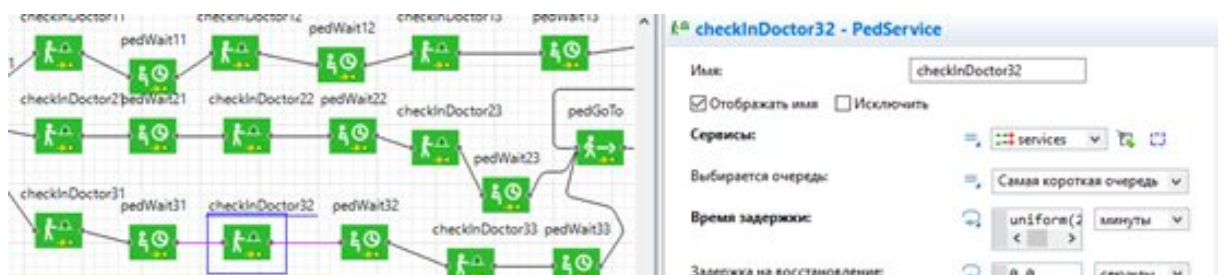


Рис. 12. Диаграмма процесса распределения пациентов

Библиографический список

1. В.В. Горбань, Л.В. Бурба, О.В. Свистун. Перспективы внедрения принципов бережливой поликлиники, в качестве основной стратегии повышения качества первичной медико-санитарной помощи — Краснодар: 2018. 42 с.
2. [Электронный ресурс]: Бережливые технологии в медицинской помощи: текущий статус и дальнейшие возможности в России (аналитический обзор) https://orgzdrav.vshouz.ru/ru/jarticles_orgzdrav/184.html?SSr=460134623223ffffff27c__07e5021a172e3a-9c7 (дата обращения 9.11.2024).
3. [Электронный ресурс]: Бережливое производство (lean manufacturing): <https://nadpo.ru/academy/blog/berezhlivoe-proizvodstvo-cto-eto-takoe-celi-tekhnologii-principy/?ysclid=m37png797x825666664> (дата обращения 11.11.2024).

© Сафиуллин А.Р., 2024

Н.В. СМИРНОВ

Smirnikita16@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Е.С. МОРОЗОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ИНТЕГРАЦИЯ АНАЛИЗА КАПНОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ В СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ ЛЕГКИХ

Аннотация: настоящая статья посвящена исследованию возможностей интеграции капнографических данных в системы автоматизированного управления искусственной вентиляцией легких (ИВЛ). Рассматриваются ключевые аспекты применения капнографии для анализа параметров вентиляции, контроля характеристик дыхания и своевременного обнаружения осложнений.

Ключевые слова: капнография, система управления искусственной вентиляцией легких, ИВЛ, капнографические данные

Немаловажным фактором стремительного развития современной медицины является все более широкое внедрение систем автоматизации. Данная тенденция затрагивает многие области медицины, в том числе область интенсивной терапии и реанимации, в частности - искусственную вентиляцию легких, которая остается неотъемлемой частью лечения пациентов с респираторной недостаточностью. Традиционный алгоритм проведения искусственной вентиляции легких требует значительного участия медицинского персонала на всем протяжении процедуры. В условиях высокой нагрузки это может привести к ошибкам в настройке параметров вентиляции.

Таким образом системы автоматизированного управления ИВЛ, становятся все более востребованными для повышения эффективности лечения и снижения нагрузки на врачей. Одним из наиболее информативных и доступных методов мониторинга состояния дыхательной системы пациента во время мероприятий интенсивной терапии является капнография, которая предоставляет данные о концентрации углекислого газа (CO_2) в воздухе и форме капнограммы. Эти параметры являются ключевыми для своевременного выявления нарушений вентиляционно-перфузионных соотношений, обнаружения утечек в системе вентиляции, а также оценки обменных и циркуляторных процессов организма.

Актуальность использования капнографии обусловлена не только ее высокой диагностической ценностью, но и возможностью в реальном времени адаптировать параметры ИВЛ под индивидуальные потребности пациента. Это особенно важно для больных с острыми и хроническими респираторными

заболеваниями, поскольку ошибки в настройке вентиляции могут привести к гипо- или гипервентиляции, баротравме и другим нежелательным последствиям.

Таким образом, интеграция капнографических данных в автоматизированные системы управления ИВЛ становится важным направлением в интенсивной терапии, способным повысить эффективность лечения и уровень безопасности пациентов.

Основу современных методов управления аппаратами искусственной вентиляции легких (ИВЛ) с использованием обратной связи составляют пять ключевых принципов:

- Setpoint control;
- Auto-setpoint control;
- Servo control;
- Adaptive control;
- Optimal control.

Принципы Setpoint Control и Auto-Setpoint Control можно считать базовыми и относительно простыми. В их основе лежит концепция, согласно которой аппарат поддерживает заранее заданные параметры, устанавливаемые медицинским персоналом.

Принцип Servo Control позволяет аппарату динамически изменять параметры вентиляции на основе текущих потребностей пациента. В этом режиме устройство анализирует изменение потока воздуха, чтобы определить необходимый уровень поддержки. При увеличении дыхательных усилий пациента на вдохе аппарат повышает уровень поддержки, снижая нагрузку на дыхательную мускулатуру возвращая ее к нормальному состоянию. Основная идея этого подхода заключается в том, чтобы адаптировать параметры вентиляции в реальном времени под нужды конкретного пациента, при каждом вдохе.

Adaptive Control представляет собой более сложный метод, позволяющий аппарату ИВЛ автоматически корректировать один или несколько параметров вентиляции с целью достижения заданного врачом показателя. Данный метод является важным шагом в развитии систем управления, так как аппарат самостоятельно вносит корректировки, уменьшая степень участия медицинского персонала в процессе вентиляции. Изменение параметров происходит в интервалах между вдохами, обеспечивая адаптацию к изменяющимся физиологическим потребностям пациента.

Наиболее интеллектуальным подходом, доступным на сегодняшний день, является Optimal Control, применяемый, например, в аппаратах Hamilton Galileo в режиме «Adaptive Support». Этот метод основан на использовании математических моделей для расчета оптимальных параметров вентиляции, направленных на минимизацию работы дыхательной системы. После ввода данных о массе тела пациента система рассчитывает оптимальные значения минутного дыхательного объема и частоты дыхания. В данном режиме каждый вдох управляем по величине давления, с ограничением его максимального

значения, что обеспечивает безопасность пациента. Кроме того, аппарат непрерывно анализирует параметры респираторной механики и вносит корректирует свои настройки между вдохами для достижения оптимального уровня вентиляции.

На данный момент все принципы управления так или иначе ориентированы на механические параметры дыхательной системы пациента и никак не способны учитывать адекватность вентиляции с физиологической точки зрения. Ответственность по наблюдению за адекватностью легочной вентиляции, включая своевременное выявление гиповентиляции, гипервентиляции или других нарушений, остается закреплена за медицинским персоналом, которому необходимо непрерывно наблюдать за качественными дыхательными параметрами пациента. В то же время, анализ и интеграция капнографических данных в интеллектуальные принципы управления искусственной вентиляцией способны решить данную проблему, повысить безопасность и эффективность процедуры. Анализ изменения формы капнограммы способен указать на нарушение проходимости дыхательных путей, спонтанные дыхательные усилия пациента, ранние признаки обструкции, о появлении утечки в контуре и даже сигнализировать о снижении сердечного выброса.

Использование капнографических данных вместе с современными принципами управления искусственной вентиляцией может позволить серьезно повысить уровень автономности и эффективности аппаратов, используемых в области интенсивной терапии и реанимации.

Интеграция капнографических сигналов в алгоритмы ИВЛ открывает новые перспективы для персонализации лечения. Технологии машинного обучения и алгоритмы на основе больших объемов данных открывают возможности использования капнограмм для построения моделей дыхания, что в будущем поможет предсказывать осложнения и более оперативно оптимизировать параметры вентиляции.

На практике капнографические данные уже применяются для оценки, как герметичности дыхательного контура. Анализ формы капнограммы дает возможность выявлять ранние признаки обструкции дыхательных путей или нарушения дыхательной механики.

Например, снижение $ETCO_2$ может постепенное уменьшение амплитуды капнограммы – о снижении сердечного выброса. Эти данные могут быть автоматически обработаны системой ИВЛ для внесения корректив в настройки вентиляции, не требуя вмешательства медицинского персонала.

Таким образом, анализ капнографических параметров является эффективным инструментом, который в будущем может быть интегрирован в автоматизированные системы управления для оптимизации искусственной вентиляции легких.

Использование капнографии позволяет улучшить мониторинг дыхательных параметров пациента, повышая точность и безопасность

вентиляции. Современные принципы управления ИВЛ, такие как Adaptive Control и Optimal Control, уже открывают новые возможности для более точной и адаптивной настройки параметров, а внедрение капнографии в эти системы способствует более персонализированному подходу в лечении пациентов с респираторными нарушениями.

Библиографический список

1. Савин И.А., Горячев А.С., Основы ИВЛ. Девятое издание. – Москва: Издательство Волков А. А., 2022. – 310 с.
2. Brian K Walsh, David N Crotwell and Ruben D Restrepo Capnography/Capnometry During Mechanical Ventilation// *Respiratory Care* April 2011, 56 (4) 503-509.
3. Tolnai, J., Rarosi, F., Toth, I. *et al.* Relationships between capnogram parameters by mainstream and sidestream techniques at different breathing frequencies. *Sci Rep* 14, 25443 (2024).
4. Lesimple, A., Fritz, C., Hutin, A. *et al.* A novel capnogram analysis to guide ventilation during cardiopulmonary resuscitation: clinical and experimental observations. *Crit Care* 26, 287 (2022).
5. Conway, A., Goudarzi Rad, M., Zhou, W. *et al.* Deep learning classification of capnography waveforms: secondary analysis of the PRODIGY study. *J Clin Monit Comput* 37, 1327–1339 (2023).
6. Spijkerboer, F.L., Overdyk, F.J. & Dahan, A. A machine learning algorithm for detecting abnormal patterns in continuous capnography and pulse oximetry monitoring. *J Clin Monit Comput* 38, 915–925 (2024).
7. Varriale, V., Cammarano, A., Michelino, F. *et al.* Critical analysis of the impact of artificial intelligence integration with cutting-edge technologies for production systems. *J Intell Manuf* (2023).
8. Csorba Zsofia MD; Petak Ferenc PhD; Nevery Kitti MD; Tolnai Jozsef PhD; Balogh Adam L. MD; Rarosi, Ferenc MSc; Fodor Gergely H. MD; Babik Barna MD, PhD. Capnographic Parameters in Ventilated Patients: Correspondence with Airway and Lung Tissue Mechanics. *Anesthesia & Analgesia* 122(5): p 1412-1420, May 2016.
9. Damam S, Meshram RJ, Taksande A, Lohiya S, Khurana A, Patel A, Khandelwal R, Nath R, Javvaji CK, Kakkat S. Navigating Pediatric Capnography: A Comprehensive Review of Scope and Limitations. *Cureus*. 2024 Jan 31.

© Смирнов Н.В., 2024

УДК 616.31

А.С. СТУКОЛКИН

rok.ri@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Ю.О. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

АППАРАТЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ И ПРОФИЛАКТИКИ ЧЕЛЮСТНО-ЛИЦЕВЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ У ДЕТЕЙ С ЦЕРЕБРАЛЬНЫМ ПАРАЛИЧОМ

Аннотация: в статье описано строение и принцип работы некоторых устройств и аппаратов для лечения и профилактики заболеваний челюстно-лицевого аппарата у детей с ДЦП.

Ключевые слова: ДЦП, артикуляционный аппарат, челюсти, миодинамическое равновесие мышц, реабилитация.

На сегодняшний день для развития, профилактики и лечения детей, у которых был обнаружен церебральный паралич (ДЦП), используется большое количество различных устройств и аппаратов. Но какие же из этих устройств применяются для профилактики челюстно-лицевых и стоматологических заболеваний?

В 2012 году был разработан аппарат, который выполнял коррекцию зубочелюстных и речевых нарушений у людей с ДЦП. Исследовали 120 человек в возрасте от 3 до 15 лет с данным диагнозом до реабилитации и через 10 месяцев после нее, которая проводилась при помощи разработанного аппарата. Они были разделены на 3 группы. Первую группу составили 30 человек со спастической диплегией. Во вторую группу входило 60 человек с правосторонней или левосторонней формами гемиплегии. В третью группу были включены 30 человек с двухсторонней гемиплегией.

Во время логопедического и стоматологического осмотров в первую очередь обращали внимание на состояние общей, артикуляционной и мелкой моторики, на состояние артикуляционного аппарата, на ход развития речи и на общее звучание речи.

Для фиксации языка в нужном положении использовали аппарат для коррекции нарушений жевательных мышц у людей с ДЦП. На рис. 1 изображен данный аппарат. Он состоит из внеротового кольца, которое неподвижно соединено с наружной стороной губного бампера в месте смыкания губ, проволочного отростка из бусинки, бусинки, площадки и козырька, который крепится на нижней челюсти.

Во время глотания бусинка фиксирует язык в правильном положении. Это приводит к восстановлению миодинамического равновесия мышц ротовой полости. Также это способствует положительному развитию нижней челюсти.

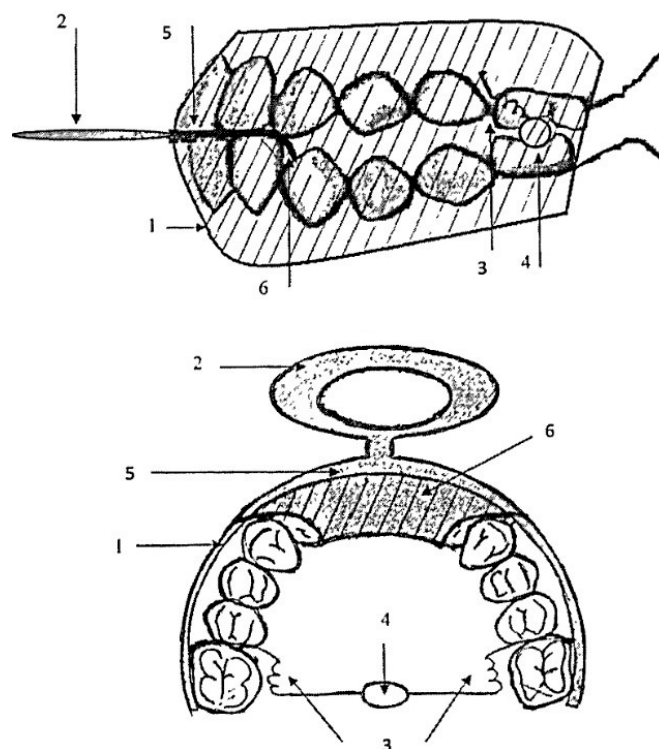


Рис. 1. Аппарат для коррекции миофункциональных нарушений у детей со спастическими формами церебрального паралича:
 1 – губной бампер; 2 – внеротовое кольцо; 3 – проволочный отросток;
 4 – бусинка, 5 – площадка, 6 – козырек

После ношения данного аппарата (через 10 месяцев), почти у половины людей из второй группы (43,8%) была выявлена положительная динамика. У них уменьшилась щель между верхним и нижним рядами зубов во фронтальном отделе до 1 мм из-за роста челюстей в правильном направлении. Также у них улучшилась речь из-за того, что взаимодействие между мышцами ротовой полости стало сбалансированным. В 1 группе динамика обнаружена у 25,5% пациентов. В 3 группе динамика была незначительной. В таблице 1 представлена оценка амплитуды биопотенциалов пациентов по группам. В данной таблице показано, как изменился биопотенциал жевательных мышц после ношения данного аппарата и выполнения рекомендаций специалистов.

Таблица 1

Амплитуда биопотенциалов жевательных мышц детей по группам до и после ношения аппарата

Группа	Амплитуда биопотенциалов жевательных мышц	
	До ношения	После ношения
1	523,7±0,98	514,3±1,55
2	507,4±1,15	482,9±1,23
3	553,7±0,36	549,7±0,41

Помимо данного аппарата существуют и другие, например, специальная ортодонтическая каппа, разработанная в 2015 году. Она изображена на рис. 2.

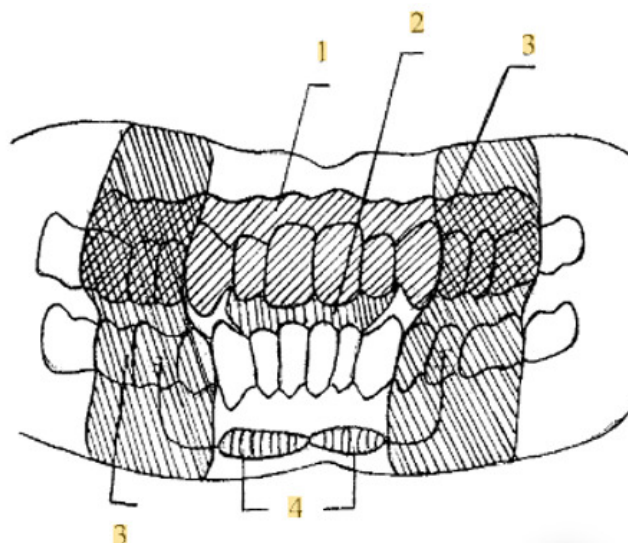


Рис. 2. Миорелаксирующая ортодонтическая каппа для детей с церебральным параличом:

1 – каппа для верхней челюсти; 2 – наклонный пелот; 3 – щиты; 4 – губные пелоты

Данное устройство состоит (см. рис. 2) из каппы для верхней челюсти, наклонного пелота, щитов для щёк и губных пелотов. Оно предназначено для коррекции давления жевательных мышц на зубы и альвеолярные отростки. Каппа сделана из жесткой пластмассы, которая разделяет ряды зубов и имеет отпечатки зубов нижней челюсти, а также пелот в области передних центральных зубов.

Работает данное устройство следующим образом. Перед его установкой у пациента снимают слепки нижней и верхней челюсти. По данным слепкам изготавливается устройство. Изготавливается специальный валик из воска. Специалист подбирает величину межзубного разобщения, нагревает валик и кладет его в рот пациента. Затем он (пациент) смыкает челюсти в правильном положении до минимального расстояния между нижним и верхним рядом. После этого на восковом шаблоне моделируется наклонный и губные пелоты, а также щечные щиты. После этих процедур все элементы изготавливают из пластмассы.

Врач производит осмотр изготовленного устройства, после чего устанавливает его в полости рта пациента и проверяет, подходит ли оно под органы ротовой полости. Если врач обнаруживает какое-либо несоответствие, то производится коррекция любого из элементов устройства при помощи шлифовки или быстротвердеющей пластмассы.

Щиты размещают на расстоянии от 2,5 до 3 мм от слизистой оболочки альвеолярных отростков и зубных рядов. Благодаря этому значительно снижается давление мягких тканей на данные участки. Они нужны для

стимуляции остеогенеза в районе апикальных оснований. Пелоты служат для роста альвеолярного отростка нижней челюсти в направлении верхней челюсти. Итак, восстанавливается миодинамическое равновесие мышц и происходит коррекция расположения нижней челюсти благодаря крепкой фиксации во время лечения. Устройство нужно носить с 3,5 лет по 2 часа днем и во время сна. Его можно использовать в период молочного и сменного прикусов.

Недостатком данного устройства является недостаточное воздействие на мышцы челюстно-лицевой области.

Данные устройства оказывают положительный эффект при коррекции челюстно-лицевых функций у пациентов с ДЦП. На данный момент времени наблюдается нехватка этой продукции на рынке. Развитие данных технологий и устройств поспособствует улучшению качеству жизни людей с ДЦП.

Библиографический список

1. Попков В.М., Бюллетень медицинских интернет-конференций; том 4, выпуск 4 – Саратов: ООО «Наука и Инновации», 2014. – 433 с.

2. Интернет-ресурс, Google Patents: миорелаксирующая ортодонтическая каппа для детей с церебральным параличом // URL: <https://patents.google.com/patent/RU153861U1/ru> (дата обращения: 15.11.2024).

3. Интернет-ресурс, Яндекс: Аппарат для коррекции миофункциональных нарушений у детей со спастическими формами церебрального паралича //URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU116766U1_20120610?ysclid=m3bmvykyqd343005947 (дата обращения: 15.11.2024).

© Стуколкин А.С., 2024

УДК 535

А.Р.ФАЗЛИАХМЕТОВА

sun.fazliakhmetova@gmail.com

Науч. руковод. – ассистент кафедры **А.А. БАБИКОВА**

Уфимский Университет Науки и Технологий

ЛАЗЕРНАЯ ХИРУРГИЯ МЯГКИХ ТКАНЕЙ

Аннотация: первым клиническим применением лазера для мягких тканей была лазерная хирургия. Уровни повышения температуры влияют на изменение облученной мягкой ткани. Когда температура мягкой ткани достигает градусов Цельсия, денатурация белка ткани, усадка соединительной ткани и сокращение мышечной ткани приводят к фототермической коагуляции ткани.

Ключевые слова: лазер, ткани, хирургия

Соответствующие режимы лазера позволяют этому клиническому гемостазу быть обратимым повреждением ткани. Эта процедура может применяться для контроля кровотечения из мягкой ткани в хирургической области и лечения сосудистых мальформаций с минимальной смертностью и частотой кровотечения. Когда температура мягких тканей повышается в диапазоне от 70 до 90 градусов по Цельсию, происходит явление отката или расширения коллагена и высвобождения клеточного белка. Эта реакция представляет собой фототермическую сварку тканей, которая обеспечивает эффективное и уникальное клиническое применение лазерной хирургии мягких тканей, лазерной сварки, обеспечивающей водонепроницаемость краев раны и способствующей заживлению хронических язв, таких как эрозивный тип плоского лишая.[5,6] В случае повышения температуры мягких тканей до 100-150 градусов по Цельсию внутриклеточная вода испаряется, что приводит к разрыву или нарушению мягких тканей с образованием струи испарения. Если температура мягких тканей превышает 200 градусов по Цельсию, углерод будет накапливаться на хирургической поверхности; карбонизация. Это называется фототермической эксцизией или фототермическим испарением, которое изначально считалось лазерной хирургией хирургической с гемостатическим эффектом. Следует подчеркнуть, что эти три явления происходят, когда ткань поглощает лазерную энергию и достигает температуры, указанной в первой попытке.

Повторные процедуры лазерного облучения в одном и том же эпизоде могут не вызвать полного взаимодействия лазера с тканью из-за меньшего количества воды в составе мягких тканей, которая играет важную роль для поглощения лазерной энергии. Чтобы сделать возможным благоприятное взаимодействие лазера с тканью в клиническом применении, выбор лазеров и настройка параметров рассматриваются следующим образом.

Выбор лазеров для хирургии слизистой оболочки полости рта и кожи лица. Основным составом слизистой оболочки полости рта и кожи является вода. Таким образом, углекислотный лазер, который хорошо поглощается водой, считается лазером выбора для фототермического иссечения и фототермического испарения. 8-10 Для хирургии мягких тканей полости рта углекислотный лазер не только обеспечивает благоприятную скорость резания, 11 но и способствует меньшему послеоперационному воспалению и сокращению раны по сравнению с Nd:YAG-лазером, эрбиевым YAG-лазером и диодным лазером, которые обычно при 800–900 нм.12 Заживление мягких тканей полости рта с помощью лазерной хирургии на углекислом газе было объяснено исследованиями *in vivo*, показывающими меньшие воспалительные реакции и миофибробласты с точки зрения количества и активности. Клинические характеристики лазера на углекислом газе для хирургии мягких тканей полости рта показаны на рис/1.

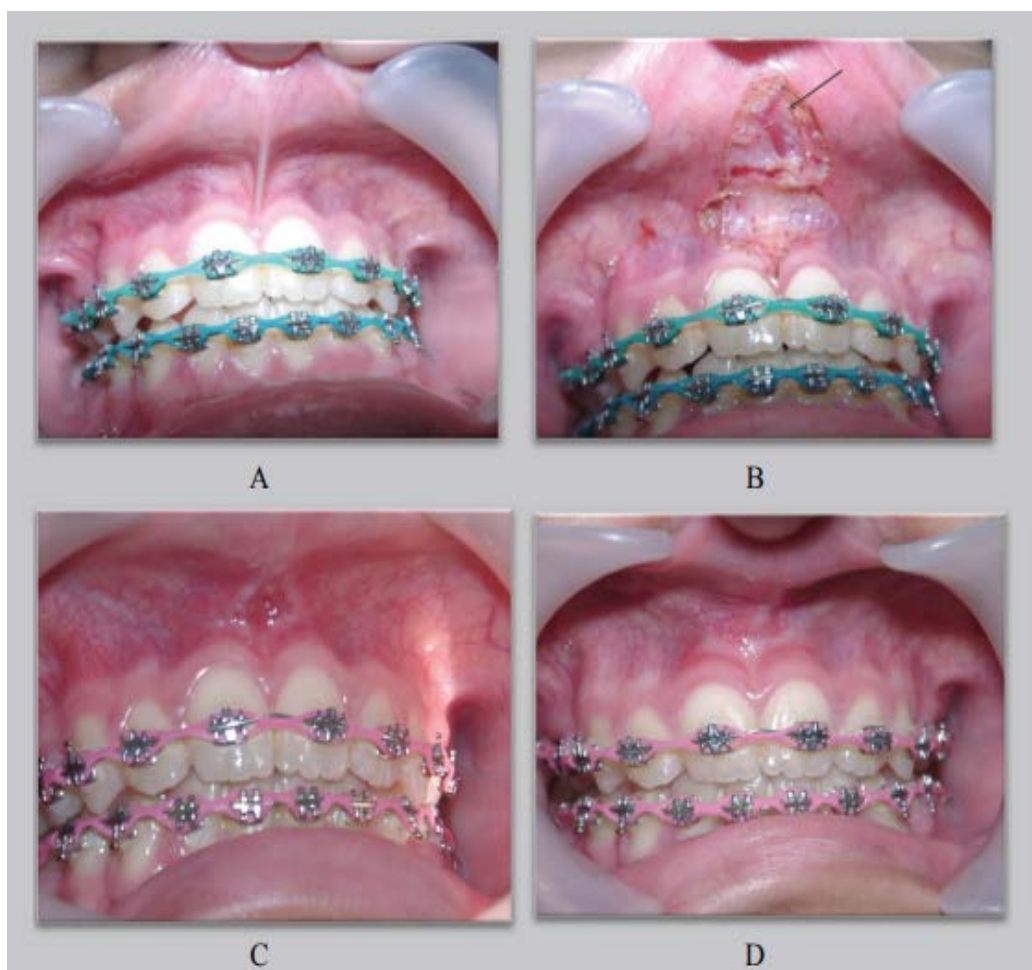


Рис. 1. Клинические особенности операции лазерной резекции уздечки верхней губы с помощью углекислого газа

А) У пациента имеется прикрепление уздечки верхней губы

В) Сразу после операции лазерной резекции уздечки верхней губы с помощью углекислого газа и вестибулярного расширения была обнаружена бледная ткань без кровотечения, покрытая тонким слоем клинической карбонизации и четко определенным хирургическим краем. Было отмечено точное выполнение иссечения рядом с сосудом без его повреждения (стрелка).

С) Через неделю после операции наблюдалось некоторое количество коагулюма, покрывающего рану, без отека и менее воспаленной ткани вокруг раны.

Д) Через месяц после операции наблюдалось полное заживление раны с тем же положением прикрепления уздечки и глубиной преддверия, что и сразу после операции

Что касается кожи лица и шеи, то лазер на углекислом газе с неселективной абляцией ограничен для поражений эпидермиса, таких как макула-папула, лентиго, солнечное лентиго, простое лентиго, себорейный кератоз, дерматоз папулезный черный, неглубокие веснушки, врожденные невусы, соединительные и сложные меланотические невусы.

С точки зрения места операции может быть неудобным использование лазера на углекислом газе с шарнирным рычагом при ограниченном доступе в

полости рта, таком как задняя часть верхней челюсти, небо и ретромолярная область. Лазер Nd:YAG и диодный лазер являются вариантами в этом случае.¹⁹ Эти лазеры также были доказаны при хирургическом вмешательстве на слизистой оболочке крыс, что не было статистически значимой разницы в долгосрочном заживлении по сравнению с лазером на углекислом газе.¹² Повторяя эффект фотокоагуляции, Nd:YAG и диодный лазер, которые имеют более низкое поглощение воды и более высокое поглощение лазерной энергии в гемоглобине, чем лазер на углекислом газе, обеспечили большую площадь коагуляционной зоны, как показано в образцах блоков мягких тканей полости рта на рисунке 2. По этой причине Nd:YAG и диодный лазер являются выбором для хирургического иссечения высокой васкуляризации, гемостаза мягких тканей и фотокоагуляции сосудистых поражений в полости рта. Отмечено, что Nd:YAG или диодный лазер, которые могут эффективно использоваться для фотокоагуляции сосудистых мальформаций и гемангиом, требуют регулируемой мощности максимум до 10 Вт. Что касается хирургии кожи, Nd:YAG лазер и диодный лазер могут использоваться для фототермического удаления или испарения солнечных веснушек и родинок, в частности, коричневого или черного цвета, а также для лечения сосудистых поражений, таких как поверхностная гемангиома и телеангиэктазии, используя технику фотокоагуляции. Однако Nd:YAG лазер или диодный лазер, используемые для хирургии мягких тканей полости рта, могут не поддерживать настройку для хирургии кожи. Q-переключаемый Nd:YAG был рекомендован в качестве выбора для дерматологической хирургии

Что касается хирургии в полости рта, следует обратить внимание на некоторые моменты.

Во-первых, Erbium YAG-лазер также хорошо поглощается гидроксипатитом. Поэтому хирургия мягких тканей, прилегающих к зубу и кости, такая как гингивэктомия и вестибулярное расширение, требует тщательной настройки параметров и контроля направления лазерного луча, чтобы избежать повреждения твердых тканей перерасходом лазера.

Во-вторых, Erbium YAG-лазер в основном разработан в режиме суперимпульса и свободного импульса с целью обеспечения определенного времени релаксации для снижения фототермической реакции. Это может привести к уменьшению коагуляционной зоны фототермической резекции, особенно в хирургии полости рта. В этом случае также должны быть подготовлены другие методы гемостаза. Эрбиевый лазер YAG также используется для дерматологической хирургии в качестве применения лазера на углекислом газе.

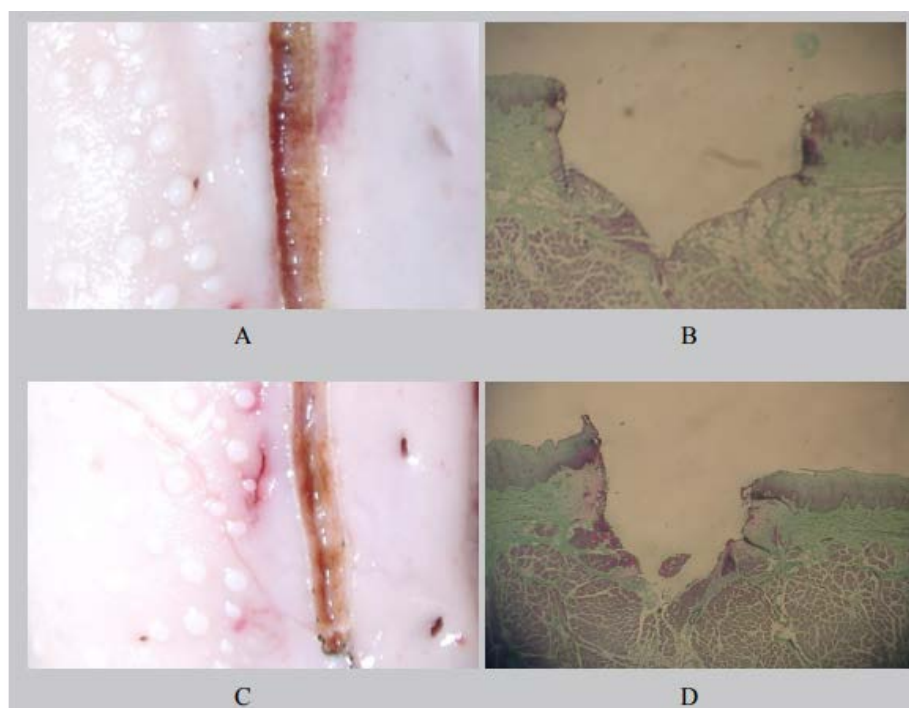


Рис. 2. Образцы блоков мягких тканей полости рта, облученных с помощью лазера на углекислом газе и лазера Nd:YAG

А) V-образная линия разреза, покрытая тонким слоем карбонизации на блоке мягких тканей полости рта, выполненном с помощью непрерывной волны лазера на углекислом газе мощностью 8 Вт

В) Гистологическое заключение А; тонкая область коагуляционной зоны была в

С) U-образная линия разреза, покрытая тонким слоем карбонизации и окруженная белесой клинической коагуляцией на блоке мягких тканей полости рта, выполненном с помощью лазера Nd:YAG мощностью 6 Вт с 200 мДж на импульс и 30 Гц

Д) Гистологическое заключение В; отчетливая область коагуляционной зоны, в частности верхняя часть разреза, была розового цвета Erbium YAG-лазер способен выполнять фототермическую резекцию мягких тканей, поскольку его энергия сильно поглощается водой

Для дерматологических поражений, таких как невусы Ота, двусторонние пятна Ота, пятна цвета кофе с молоком, пятна портвейна и удаления татуировок требуются специализированные лазеры для кожной хирургии, такие как 1064 нм лазер Nd:YAG с модуляцией добротности, 694 нм рубиновый лазер с модуляцией добротности, 755 нм александритовый лазер с модуляцией добротности и 585 нм импульсный лазер на красителе.

Параметры лазерной хирургии мягких тканей и кожи полости рта. Существует разница в требуемых рабочих характеристиках для хирургии слизистой оболочки полости рта и кожи. Достаточный фототермический эффект для создания коагуляционной зоны вокруг хирургического края требуется для лазерной хирургии с гемостазом в мягких тканях полости рта, в то время как боковое тепло не требуется для хирургии кожи в пределах базального слоя, который не содержит капилляров. Кроме того, избыточная фототермическая реакция кожи увеличивает риск образования рубцов. Примеры параметров лазера для мягких тканей полости рта и кожи следующие.

Углекислотный лазер. Используя углекислотный лазер для хирургии мягких тканей полости рта для фототермического иссечения и испарения, предлагаемые параметры, основанные на нашем клиническом обзоре нашего исследования действия, находились в диапазоне от 3 до 5 Вт с непрерывной волной излучения.²⁶ Для хирургии кожи время тепловой релаксации было настолько существенным, что рекомендовались только суперимпульсы и ультраимпульсы.

Лазер Nd:YAG. Лазер Nd:YAG с бегущим импульсом может использоваться для хирургии мягких тканей полости рта и кожи. Параметры варьируются в зависимости от цели лечения и ткани-мишени. Некоторые примеры настройки были проиллюстрированы в разделе пациентов и методов этой главы. Для дерматологического лазера, такого как лазер Nd:YAG с модуляцией добротности, настройка для фототермического удаления или испарения родинок и коричневатых или черноватых невусов находилась в диапазоне от 2 до 10 джоулей на квадратный сантиметр энергии стоматологии и длительности импульса от 5 до 20 наносекунд.¹ Диодный лазер 800–900 нм.

Предлагаемая доза диодного лазера для фото термического удаления небольших поражений полости рта диаметром менее 1 см составляла мощность от 3 до 5 в непрерывной волне.²⁶ Производительность резки была ниже, чем у лазера на оксиде углерода, но производила более выраженную коагуляцию. Установка мощности выше 5 Вт приводит к избыточной коагуляционной зоне и карбонизации, препятствующей скорости резки. В этом случае установка повторяющегося импульса с длительностью излучения в миллисекундах улучшит хирургическую производительность. Для кожной хирургии, такой как удаление веснушек, рекомендуемый параметр составлял от 7 до 15 джоулей на квадратный сантиметр с длительностью излучения от 20 до 50 миллисекунд. В случае сосудистых поражений, таких как небольшие ангиомы и телеангиоэктазии, настройка составляла от 6 до 10 джоулей на квадратный сантиметр с длительностью излучения от 10 до 50 миллисекунд.

Будут описаны хирургические методы, основанные на фототермической коагуляции, фототермической сварке тканей и фототермической эксцизии или фототермической вапоризации.

Фото термическая коагуляция. Лазерно-хирургические методы фототермической коагуляции можно разделить в зависимости от пораженной ткани и результата следующим образом: метод коагуляции тканей, метод фотокоагуляции для инициирования сгустка крови и метод внутри очаговой фотокоагуляции. Метод фотокоагуляции тканей клинически полезен для остановки кровотечения или сочащегося из сосуда диаметром менее 0,5мм²⁰ и коагуляции сосудистых мальформаций с низким потоком в полости рта. Для сосудистой мальформации, которая глубже поверхности или диагностирована как капиллярная гемангиома, внутри очаговая фотокоагуляция будет выбором лазерной хирургии.

Фототермическое иссечение или фототермическое испарение

Это хорошо известная процедура лазерной хирургии, известная хирургией с гемостазом, а также способствующая благоприятному заживлению. Это позволяет хирургам проводить операцию без необходимости наложения швов или пересадки. Выполнение лазерной хирургии мягких тканей открывает возможности для иссечения конструкций и повторной операции для достижения большей клинической эффективности, и качества жизни пациента. В целом, лазер, применяемый для хирургии мягких тканей, обеспечил больше преимуществ с точки зрения гемостаза и заживления ран, чем традиционная хирургия. Они обеспечивают большую эффективность и результативность хирургического метода, улучшая инновационные хирургические методы.

Библиографический список

1. Sulewski JG. Исторический обзор лазерной стоматологии. Dent Clin North Am 2000;44(4):717-52.

2. Брэдли П. Термическая хирургия злокачественных опухолей полости рта, челюстей и слюнных желез, редакторы Лэнгдон Дж. и Хенк Дж. Эдвард Арнольд: Лондон 1995;136-46.

3. Колуцци Дж. Основы стоматологических лазеров: наука и инструменты. Dent Clin North Am 2004;48(4):751-70.

4. Саттают С. Сварка мягких тканей полости рта с помощью CO₂-лазера: исследование in vitro. Laser Ther 2013; 22(1): 11-5.

5. Саттают С. Новая методика использования диодного лазера для лечения рефрактерного эрозивного плоского лишая полости рта. Laser the International Magazine of Laser Dentistry 2011; 3(3):18-20.

6. Sattayut S. Low intensity laser therapy for temporomandibular diseases and oral soft tissue

lesion: development and efficient. in Proceeding of the 9th World Association for Laser Therapy. Congress. 2012. Gold Coast Australia: Medimond.

© Фазлиахметова А.Р., 2024

УДК 616-073.082.4

А.А. ЧЕРНОУСОВА

tchernousovasash@yandex.ru

Науч. руковод. – ст. препод. кафедры БМИ **Н.С. ИВАНОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ДОПЛЕРА В МЕДИЦИНЕ

Аннотация: в тексте описывается эффект Доплера и его применение в медицине, в частности, в ультразвуковой диагностике. Эффект позволяет определить гемодинамические параметры сердечно-сосудистой системы

человека и выявить патологии без вреда для здоровья пациента. Разработка ультразвуковых приборов с применением эффекта Доплера является актуальной задачей для сохранения здоровья пациентов и раннего выявления сердечно-сосудистых заболеваний.

Ключевые слова: эффект Доплера, сердечно-сосудистая система, поток крови, блок-схема непрерывноволнового доплеровского прибора.

В мире современной медицины наблюдается стремительное развитие и интеграция передовых технологий в сфере исследований. Ключевым достижением стало открытие эффекта Доплера – явления, широчайше применяемого не только в научных изысканиях, но и на практике различных технических дисциплин.

В далеком 1842 году Кристиан Доплер выступил перед членами Королевского общества Богемии с докладом «О спектральном цвете двойственных звезд и ряда космических объектов» [4]. В этом труде он впервые описал феномен смещения линий в спектре излучения парных звезд, что послужило фундаментом для формирования теории определения скоростей, перемещающихся тел.

Эффект Доплера заключается в изменении воспринимаемой частоты волн под воздействием относительного движения источника и наблюдателя. В контексте медицины это проявляется следующим образом: при направлении ультразвукового луча вдоль сосудов, движущиеся эритроциты становятся своеобразными отражателями, вызывая сдвиг частоты принимаемого сигнала [1]. Этот феномен, известный как доплеровский эффект или сдвиг Доплера, напрямую коррелирует со скоростью кровотока. Важным аспектом является возможность не только измерения этой скорости, но и определения направления потока: при приближении к источнику ультразвука частота возрастает, в то время как отдаление приводит к её уменьшению.

Одной из уникальных характеристик ультразвуковых волн, обуславливающих их широкое применение в диагностических целях, является возможность их направленного использования путём концентрации в узком пучке. В медицинской диагностике используются частоты ультразвуковых волн в диапазоне от 1 до 10 МГц. Более низкие частоты, от 1 до 2 МГц, применяются для исследования структур головного мозга. Частоты от 2 до 5 МГц используются при абдоминальных исследованиях, то есть для диагностики органов брюшной полости и малого таза. Частоты от 5 до 10 МГц применяются в офтальмологии, ангиологии и для обследования малых органов [2].

В медицине эффект Доплера лежит в основе функционирования всех ультразвуковых диагностических приборов, предназначенных для определения гемодинамических параметров сердечно-сосудистой системы человека, а также для выявления патологических изменений и оценки функционального состояния. С помощью ультразвукового доплеровского исследования врачи могут не только оценить сократительную функцию сердца, но и обнаружить

нарушения в работе клапанов, а также выявить другие патологии сердечно-сосудистой системы без введения контрастных веществ. Это способствует раннему выявлению изменений в сердечно-сосудистой системе и назначению своевременного лечения, что имеет особое значение для сохранения здоровья пациентов.

Основной проблемой, связанной со смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, является то, что первые признаки болезни проявляются в виде инсульта, инфаркта или даже летального исхода. Традиционные методы диагностики, такие как ангиография и магнитно-резонансная томография, могут быть дорогостоящими или недоступными для некоторых пациентов. В связи с этим, разработка ультразвуковых приборов с использованием эффекта Доплера становится актуальной и перспективной задачей для научно-исследовательской и опытно-конструкторской деятельности.

Блок-схема непрерывноволнового доплеровского прибора, представленная на рисунке 1, иллюстрирует принцип его работы. Задающий генератор 1 генерирует синусоидальный сигнал, который затем усиливается в усилителе мощности 2, а затем передается на пьезоэлемент 3. Этот элемент создаёт непрерывную ультразвуковую волну 4, которая распространяется в направлении кровеносного сосуда 5. Отражая от движущихся форменных элементов крови 6, ультразвуковая волна возвращается к приёмному пьезоэлементу 7, где происходит её регистрация. Затем сигнал поступает на вход предусилителя 8, который усиливает слабые отражённые сигналы до уровня, достаточного для их детектирования демодулятором 9. На выходе демодулятора сигнал имеет форму доплеровской разностной волны с частотой Δf_d [3].

В зависимости от скорости движения объектов относительно датчика, происходит изменение частоты принимаемых ультразвуковых волн. Это изменение частоты можно измерить для диагностики состояния кровеносных сосудов.

Однако, несмотря на преимущества, эффект Доплера имеет и некоторые ограничения. Например, он не позволяет точно определить местоположение источника излучения или движущегося объекта. Кроме того, эффект Доплера может быть затруднён из-за наличия препятствий на пути распространения волн.

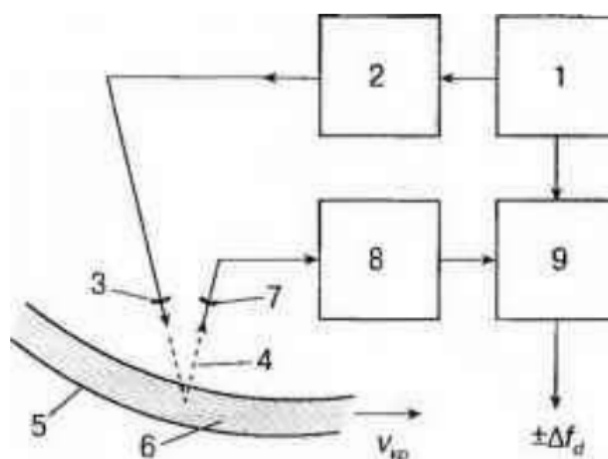


Рис. 13. Блок-схема непрерывноволнового доплеровского прибора, где 1 – задающий генератор, 2 – усилитель мощности, 3 – передающий пьезоэлемент, 4 – ультразвуковая волна, 5 – кровеносный сосуд, 6 – эритроциты, 7 – приемный пьезоэлемент, 8 – предусилитель, 9 – демодулятор.

Тем не менее, в настоящее время разрабатываются новые методы применения эффекта Доплера в медицине. Исследуется возможность использования доплеровских ультразвуковых систем для диагностики заболеваний внутренних органов, таких как печень, почки, селезенка. Также исследуется возможность исследования неинвазивной диагностики заболеваний головного мозга.

Таким образом, эффект Доплера выступает мощным инструментом диагностики и анализа биологических процессов, демонстрируя не только прогресс медицинских технологий, но и их глубокую связь с фундаментальными открытиями в области физики.

Библиографический список

1. Doppler J.C. Uber das farbige Licht der Dopplersterne und einiger anderer Gestirne des Himmels // Abhandlungten der Koniglichen Bohemischen Gessellschaft der Wissenschaften. 1842. Bd. 11. S. 466—482.
2. Satomura S. A study on examining the heart with ultrasonics. I. Principles; II. Instrument // JPN. Circ.J. 1956. V. 20. P. 227-241.
3. Важнов Ю.С., Веневцев М.К., Никитин Ю.М. и др. Ультразвуковой доплеровский измеритель скорости кровотока / Авторское свидетельство СССР, № 1215659.
4. Doppler J.C. Uber das farbige Licht der Dopplersterne und einiger anderer Gestirne des Himmels // Abhandlungten der Koniglichen Bohemischen Gessellschaft der Wissenschaften. 1842. Bd. 11. S. 466—482.

© Черноусова А.А., 2024

А.В. ЧИКИН

tchikin.anthony@yandex.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ **К.Р. УРАЗБАХТИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ БЫСТРОГО РАЗМОРАЖИВАНИЯ ПЛАЗМЫ

Аннотация: состояние современной научно-практической базы позволяет говорить нам о возможности использования передовых разработок в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах. Таким образом, анализ технических и научных решений для разработки систем быстрого размораживания плазмы является актуальной задачей.

Ключевые слова: свежезамороженная плазма, система быстрого размораживания плазмы.

В настоящее время клинический опыт и научные исследования стали основой для формирования, развития и внедрения нового направления в трансфузиологии компонентной гемотерапии [1].

Принцип компонентной гемотерапии основан на дифференцированном получении от донора необходимых клеточных компонентов или плазмы крови, а также на замещении ими недостающих компонентов у пациента. Данный метод способствует экономии ресурсов донорской крови и представляет собой оптимальный способ гемотрансфузии для пациентов, нуждающихся в значительном количестве определённых компонентов крови [2].

Плазма крови широко применяется в компонентной гемотерапии. Ежегодно в России используется более 1.5 миллионов литров плазмы крови, значительная часть которой составляет свежезамороженная плазма [3].

После сдачи донорской плазмы необходимо обеспечить ее правильное хранение, а затем подготовить к трансфузии. Для этой цели применяются системы быстрого размораживания, специально разработанные для эффективного и безопасного процесса размораживания плазмы крови.

Быстрое размораживание плазмы крови играет ключевую роль в современной медицине, особенно в экстренных ситуациях, таких как массивные кровотечения или острая нехватка факторов свертывания. Переливание свежезамороженной плазмы тяжело раненым пациентам способствует восстановлению объема и нормализации свертываемости крови, за счет содержащихся в плазме коагуляционных факторов.

Современные системы стремятся к сокращению времени процесса, улучшению биологической безопасности и сохранению функциональных свойств плазмы.

Технологические и научные достижения открывают новые перспективы для улучшения этих систем. Рассмотрим основные направления их развития.

1. Интеллектуальные системы управления. Современные технологии управления, основанные на искусственном интеллекте и алгоритмах машинного обучения, значительно повышают точность и эффективность процесса размораживания плазмы [4]. Интеллектуальная система управления способна автоматически анализировать объем и тип плазмы, а также температуру хранения и окружающей среды. На основании полученных данных система самостоятельно установит оптимальные параметры для размораживания. Встроенные датчики температуры и вязкости плазмы позволяют контролировать процесс в реальном времени и корректировать его, предотвращая перегрев.

2. Использование наноматериалов. Наноматериалы, такие как графен или наночастицы серебра, могут использоваться в конструкциях устройств для ускоренного и равномерного нагрева [5]. Это позволит более точно и равномерно распределять температуру, что, в свою очередь, приведет к минимизации повреждений белков и факторов свертывания.

3. Мобильные устройства для экстренной помощи. Переносные устройства особенно актуальны в условиях катастроф, на транспорте или в полевых госпиталях, где требуется немедленная подготовка плазмы [6]. Мобильные системы для быстрого размораживания плазмы должны иметь компактные размеры и автономные источники питания, должны быть устойчивы к воздействию высоких или низких температур, вибраций и ударов.

4. Использование новых технологий в вопросе энергоэффективности. Использование термоэлектрических материалов значительно улучшит преобразование электрической энергии в тепло с минимальными потерями. Основным принципом функционирования термоэлектрических материалов является эффект Зеебека, который заключается в том, что разница температур между двумя сторонами материала вызывает генерацию электрического тока. Также следует отметить эффект Пельтье, который позволяет нагревать или охлаждать материал за счет протекания электрического тока. Комбинируя эти два явления, можно эффективно управлять тепловыми процессами. Использование таких материалов в системах быстрого размораживания плазмы открывает новые возможности для повышения энергоэффективности и точности управления температурным режимом [7].

5. Использование рекуперации тепла. Рекуперация – это технология повторного использования выделяемой тепловой энергии для повышения эффективности процессов. В системах размораживания плазмы крови рекуперация помогает сократить энергопотребление, обеспечить равномерное распределение тепла и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду [8]. Данная технология может использоваться в мобильных устройствах. Внедрение в мобильные системы быстрого размораживания плазмы компактных теплообменников обеспечит повторное использование тепла, выделяемого от аккумулятора.

В таблице 1 представлены вышеперечисленные технологические и научные достижения в разработке систем быстрого размораживания плазмы с указанием их достоинств и недостатков.

Таблица 1

Достоинства и недостатки передовых технологических решений в разработке систем быстрого размораживания плазмы

Технологическое решение	Достоинства	Недостатки
Интеллектуальные системы управления	1. Точность контроля температуры. 2. Минимизация человеческого фактора. 3. Автоматическая оптимизация процесса.	1. Высокая стоимость внедрения. 2. Необходимость интеграции с существующими системами.
Использование наноматериалов	1. Равномерное распределение тепла. 2. Повышение энергоэффективности.	1. Высокая стоимость материалов. 2. Необходимость дополнительного исследования безопасности.
Мобильные устройства для экстренной помощи	1. Компактность и автономность. 2. Быстрая готовность к работе. 3. Устойчивость к внешним условиям.	1. Ограниченная мощность. 2. Необходимость частой зарядки аккумуляторов или использования портативных источников энергии.
Использование новых технологий в вопросе энергоэффективности	1. Точность управления нагревом.	1. Ограниченная эффективность (низкий коэффициент ZT). 2. Высокая стоимость материалов.
Использование рекуперации тепла	1. Снижение энергозатрат. 2. Экологичность. 3. Повышение производительности.	1. Сложность конструкции. 2. Увеличение стоимости устройств. 3. Требуется интеграция с системами контроля.

Развитие систем быстрого размораживания плазмы крови связано с внедрением передовых технологий, таких как искусственный интеллект, наноматериалы и энергоэффективные решения. Эти направления способны

значительно улучшить качество медицинской помощи, обеспечив безопасность и сохранение свойств плазмы. Однако для успешной реализации этих идей необходимо дальнейшее исследование и стандартизация.

Библиографический список

1. Учебное пособие. Переливание крови и ее компонентов. В.А. Белобородов, Е.А. Кельчевская. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России), Иркутск, 2020.
2. Барышев Б.А. Методы удаления лейкоцитов из крови и ее компонентов // Трансфузиология. 2002. - № 1.- С. 54-58.
3. Всемирная организация здравоохранения. [Интернет-ресурс]. URL: <https://www.who.int/> (дата обращения 17.11.2024)
4. Иванов А.С., Петров В.Н. Интеллектуальные системы в медицине: перспективы и вызовы // Вестник медицинских технологий. – 2022. – Т. 34, № 2. – С. 145–151.
5. Овчинников А.В., Куликов В.И. Использование наноматериалов в медицине: возможности и ограничения // Материалы международной конференции "Медицина будущего". – 2021. – С. 98–104.
6. Brown K., Lee T. Mobile Blood Plasma Thawing Devices for Emergency Use // Emergency Medicine Innovations. – 2021. – Vol. 12, No. 3. – P. 87–93.
7. Johnson P., Wang H. Energy Efficiency in Plasma Thawing Systems // Sustainable Medical Engineering. – 2019. – Vol. 15, No. 2. – P. 55–62.
8. Иванов А.С., Петров В.Н. Рекуперация тепла в медицинских системах // Вестник медицинских технологий. – 2021. – Т. 34, № 4. – С. 112–117.

© Чикин А.В., 2024

УДК 53.04:612

М.Е. КОВАЛЕВА, А.С. ИДРИСОВА

ormariyaro@gmail.com

Науч. руковод. – канд. физ.-мат. наук, проф. **З.А. ЯГАФАРОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА К ВНЕШНЕЙ СРЕДЕ: РОЛЬ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ РИТМОВ В ОРГАНИЗМЕ

Аннотация: в работе представлены результаты исследования влияния факторов внешней среды на параметры сердечно-сосудистой системы организма человека: коэффициент эффективности кровообращения, индекс Робинсона и общее периферическое сопротивление сосудов.

Ключевые слова: сердечно-сосудистая система, организм, автоколебательные процессы, факторы внешней среды.

Человеческий организм является сложной системой, стабильность работы которого может зависеть от самых различных факторов. Основой же жизнедеятельности организма являются физиологические ритмы, от которых зависит не просто стабильность его работы, но и существование в целом.

Автоколебательные процессы в организме человека представляют собой биологические ритмы, которые могут варьироваться от секунд до суток, недель и даже лет. Эти процессы обеспечивают функционирование различных физиологических систем и позволяют организму эффективно адаптироваться к изменениям. Перечислим аспекты автоколебательных процессов. С точки зрения физики, автоколебательные процессы – это колебания, которые происходят внутри системы без внешнего воздействия. В контексте человеческого организма это ритмы сердечно-сосудистой системы, дыхания, ночного и дневного сна, а также другие циклические изменения, связанные, например, с гормональным фоном. Существуют несколько типов биоритмов. К циркадным ритмам относятся суточные колебания, связанные с изменениями уровня гормонов, температуры тела и других физиологических показателей. Например, уровень кортизола и мелатонина изменяются в зависимости от времени суток. Ультрадианные ритмы имеют период менее суток, т.е. повторяются несколько раз в течение 24 часов и могут включать в себя циклы пищеварения, сердцебиения. Инфраничные ритмы определяются как любые циклы, длящиеся более суток.

Автоколебания в организме человека регулируются сложной системой взаимодействий, включающей в себя внутренние часы организма (циркадные ритмы), которые регулируются светом и темнотой и зависят от работы гипоталамуса, а также гормональные изменения, влияющие на физические и психологические состояния.

Факторы внешней среды, такие как свет, температура, стресс и окружающий шум, могут существенно влиять на автоколебательные процессы, нарушая их естественные циклы. Например, смена часовых поясов или работа в ночные смены может привести к сбоям в циркадных ритмах. Так как автоколебательные процессы являются важными для поддержания гомеостаза организма, то их нарушение может привести к различным заболеваниям, включая расстройства сна, депрессию, сердечно-сосудистые заболевания и метаболические нарушения. Современные исследования в области изучения биологических ритмов направлены на изучение механизмов автоколебательных процессов и их влияния на здоровье человека. Исследования включают в себя обследования с использованием технологий мониторинга для изучения влияния образа жизни на ритмы организма.

Знание влияния периодических процессов на здоровье человека можно будет использовать, прогнозируя возможные изменения в поведении жизнедеятельности организма в результате рассогласования циркадных ритмов на примере смены часовых поясов и климата, а также факторов, возникающих в деятельности человека.

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают влияние климата и резкой смены часовых поясов на организм человека. Были проведены исследования в группе респондентов с разной возрастной категорией. Обнаружено, что КЭК (коэффициент эффективности кровообращения), отражающий текущее состояние сердечно-сосудистой системы, зависит от возраста. Результаты КЭК служат официальным медицинским заключением о состоянии здоровья и выдаются на основе заключения клинико-экспертной комиссии. Если в молодом возрасте организм быстрее адаптируется к новым условиям и климату, то люди среднего возраста уже тяжелее привыкают к новым условиям, изменению часового пояса. Любые климатические изменения могут привести к изменению их биоритмов, вследствие чего организм испытывает стресс и утомляется. В пожилом возрасте неблагоприятные метеорологические условия и любые климатические изменения ведут к сбою ритмов, организм быстро утомляется, что этот факт для большинства в таком возрасте становится нормой.

Были проведены исследования ОПСС (общее периферическое сосудистое сопротивление) – сопротивления сосудов току крови, возникающее вследствие вязкости крови и трения о стенки сосудов. Отмечено, что увеличение ОПСС может напрямую повысить кровяное давление (привести к гипертонии), повреждая сердце, почки, глаза, мозг и другие органы. И также наоборот, чрезмерное уменьшение сопротивления может привести к повреждению органов, например, через шок.

В ходе эксперимента был определен индекс Робинсона (ИР) работы организма испытуемых. ИР характеризует систолическую работу сердца: чем больше этот показатель на высоте физической нагрузки, тем больше функциональная способность мышц сердца. По этому показателю косвенно можно судить о потреблении кислорода миокардом. В эксперименте наблюдались колебания значений исследуемых параметров в зависимости от индивидуальных начальных данных испытуемых.

На рис. 1, 2, 3 представлены измеренные в течение месяца коэффициенты эффективности кровообращения для некоторых респондентов в различных возрастных категориях. КЭК характеризует состояние функций сердечно-сосудистой системы. Норма 2600 усл.ед. (красная линия), увеличение и скачки на диаграмме КЭК указывают на затруднения в работе сосудистой системы.

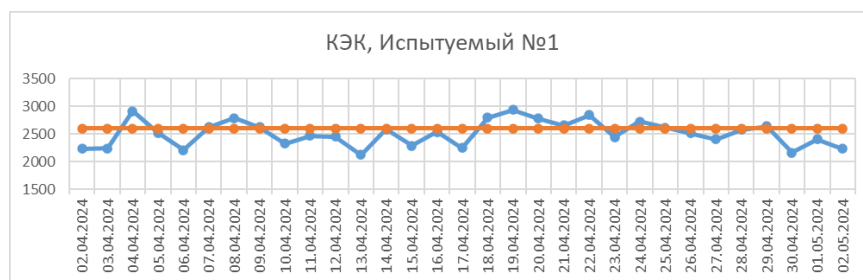


Рис. 1. Диаграмма коэффициента эффективности кровообращения испытуемого № 1 (возраст 23 года)

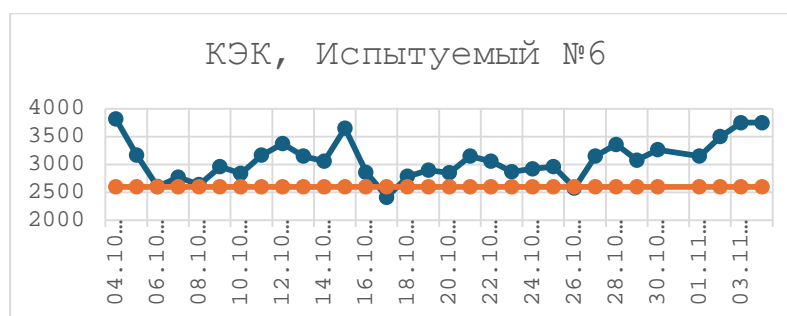


Рис. 2. Диаграмма коэффициента эффективности кровообращения испытуемого № 6 (возраст 58 лет)



Рис. 3. Диаграмма коэффициента эффективности кровообращения для испытуемого № 7 (возраст 86 лет)

Результаты исследований показывают, что молодые люди быстро адаптируются к новым климату, т.к. организм относительно быстро перестраивается к этим условиям. Физически данные изменения не ощущаются, но организм все же находится в состоянии стресса (небольшая тревожность, гиперреактивность, либо сонливость, нарушения работы ЖКТ). Людям среднего возраста требуется немало времени, чтобы привыкнуть к изменению климата и места жительства. На начальном этапе их показания скачут весьма сильно, но все же с течением времени приходят в норму. Пожилые люди наиболее подвержены любым внешним изменениям, любая активность или изменения погоды могут привести к скачку кровяного давления и других показателей, даже если человек не меняет место постоянного проживания.

Таким образом, автоколебательные процессы в организме человека являются неотъемлемой частью его функционирования. Понимание их механизмов и взаимодействия с внешней средой открывает возможности для разработки новых подходов в медицине и психологии, а также в оптимизации повседневной жизни, сохранения здоровья и долголетия. В ходе исследований влияния факторов внешней среды на автоколебательные процессы в организме человека были получены результаты, показывающие возможные осложнения при изменении внешних условий на работе внутренних систем человека. Можно сделать вывод о том, что с возрастом лучше избегать резкой смены часовых поясов и места пребывания, т.к. восстановление после переезда, перелета происходит весьма трудно и долго.

Библиографический список

1. Буданов В.Г. Принципы гармонии как эволюционные синхронизмы – начала демистификации // Труды междунар. конф. «Математика и искусство» (Суздаль, 1996). – М.: «Прогресс-традиция», – 1997. – С. 116–122.

2. Исаева Н.М., Субботина Т.И., Хадарцев А.А., Яшин А.А. Код Фибоначчи и «золотое сечение» в экспериментальной патофизиологии и электромагнитобиологии: Монография / Под ред. Т.И. Субботиной и А.А. Яшина. – М.: ООО «Издательство «Триада», – 2007. – С.136.

3. Еськов В.М., Зилев В.Г., Хадарцев А.А. Новые подходы в теоретической биологии и медицине на базе теории хаоса и синергетики // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2006. – Т. 5, – № 3. – С. 617–623.

© Ковалева М.Е., 2024

СЕКЦИЯ 3.3. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.398

В.Е. АНТИПОВА

verra.3755@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Г.С. ВОРОНКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБНАРУЖЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СЛАБЫХ СИГНАЛОВ В ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛАХ СВЯЗИ

Аннотация: в статье рассмотрена проблема обнаружения последовательностей слабых сигналов в гидроакустических каналах связи. Приведена методика решения проблемы обнаружения синхросигнала в гидроакустическом канале связи на фоне шумов.

Ключевые слова: гидроакустический канал связи; измерение во время бурения; последовательность синхроимпульсов.

Измерение во время бурения представляет собой отслеживание параметров инклинометрии, таких как угол поворота отклонителя, зенита, азимута, а также дополнительных параметров контроля в процессе бурения [1].

Использование для передачи данных во время бурения гидроакустического канала по сравнению с проводной передачей является более надежным и экономически выгодным методом [2]. Однако скорость передачи при использовании данного метода значительно ниже, чем при использовании оптоволокна. Она составляет единицы бит в секунду [3].

Расстояние, проходимое сигналом по гидроакустическому каналу связи, составляет порядка нескольких километров, поэтому свойства канала оказывают значительное влияние на качество передачи информации. Происходит потеря мощности сигнала из-за вязкого рассеивания и трения о стенки скважин. В гидроакустическом канале сигнал также подвержен затуханию и многолучевому распространению [4].

Помехи на сигнал в основном действуют со стороны бурового насоса [5,6].

Положение датчика инклинометрии относительно долота также может влиять на уровень шумов. При размещении датчика инклинометрии ближе к долоту увеличивается уровень шумов, в противном случае сигнал будет приходиться с запаздыванием [7,8].

Таким образом, обнаружение сигнала в гидроакустическом канале осложняется конструктивными особенностями буровой установки, а также различными источниками помех.

В настоящее время из-за санкций возникает потребность в замене оборудования зарубежных производителей отечественными аналогами, разработке соответствующего программного обеспечения.

Далее описана методика решения проблемы обнаружения последовательности синхроимпульсов на фоне шумов в гидроакустическом канале связи. В данном случае используется времяимпульсная модуляция. Происходит обнаружение последовательности синхроимпульсов по форме путем нахождения корреляции.

На рисунке 1 представлена блок-схема программы.

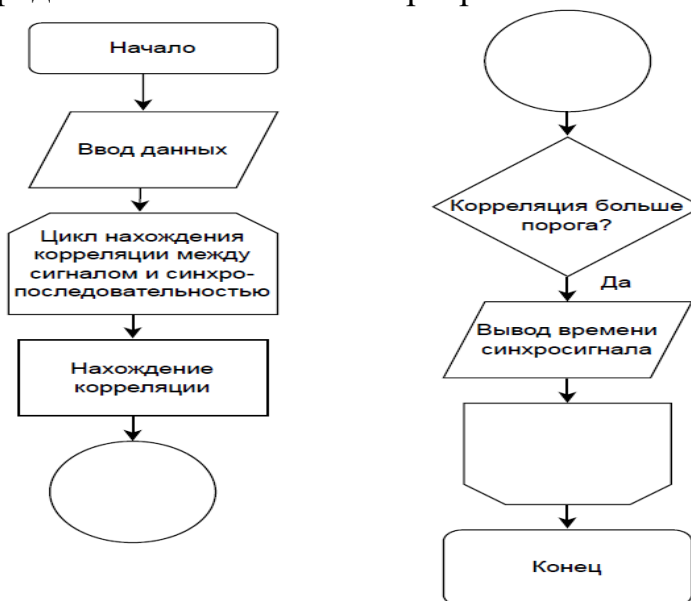


Рис. 1. Блок-схема программы

Далее приведен принцип работы программы.

Заранее известна эталонная последовательность синхроимпульсов, заданная в виде вектора. Сигнал также представляет собой вектор. Задан порог коэффициента корреляции, значения выше которого указывают на совпадение по форме сигнала в заданный момент времени и последовательности синхроимпульсов.

В цикле с постусловием последовательно происходит нахождение корреляции между вектором сигнала в данный отрезок времени и вектором последовательности синхроимпульсов.

Если значение коэффициента корреляции выше порога, то выводится соответствующий момент времени сигнала.

Разработанный алгоритм позволяет находить последовательность синхроимпульсов на фоне шумов в гидроакустическом канале связи.

Библиографический список

1. Isheyskiy V., Sanchidrián J.A. Prospects of Applying MWD Technology for Quality Management of Drilling and Blasting Operations at Mining Enterprises:

10 // Minerals. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 10, № 10. P. 925.

2. Research on data transmission system of acoustic wave while drilling based on OFDM - Zheng - 2023 - IET Communications - Wiley Online Library [Electronic resource]. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/cmu2.12553> (accessed: 22.11.2024).

3. Wang Z. et al. The Experimental Study of High speed Shear Valve Pulser Telemetry System in MWD // 2023 5th International Conference on Intelligent Control, Measurement and Signal Processing (ICMSP). 2023. P. 659–664.

4. Li C., Xu Z. A Review of Communication Technologies in Mud Pulse Telemetry Systems: 18 // Electronics. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2023. Vol. 12, № 18. P. 3930.

5. Yan X. et al. Adaptive Noise Cancellation Method for Continuous Wave Mud Channel of MWD // 2020 IEEE 16th International Conference on Control & Automation (ICCA). 2020. P. 289–294.

6. Wu J. et al. A continuous phase-frequency modulation technique and adaptive pump noise cancellation method of continuous-wave signal over mud telemetry channel // Digital Signal Processing. 2021. Vol. 117. P. 103147.

7. Yang H. et al. Research on Identification and Suppression of Vibration Error for MEMS Inertial Sensor in Near-Bit Inclinometer // IEEE Sensors Journal. 2022. Vol. 22, № 20. P. 19645–19655.

8. Yang H. et al. Research on Dynamic Measurement Method of Drilling Tool Attitude Near Bit Based on Suppression of Heavy-Tailed Measurement Noise // IEEE Sensors Journal. 2023. Vol. 23, № 16. P. 18384–18395.

© Антипова В.Е., 2024

УДК 004.852

З.З. ГАЛЕЕВ, М.С. БУТКИН

gazuzza050603@gmail.com, MMMax521@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **И.К. МЕШКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ И ОЦЕНКИ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ С OFDM МОДУЛЯЦИЕЙ

Аннотация: в данной статье речь пойдет об использовании искусственного интеллекта (а следовательно и машинного обучения) для оценки сигнала на приемной стороне. То есть на приемной стороне OFDM системы с помощью машинного обучения происходит распознавание символов

и вывод графиков зависимости вероятности ошибки в зависимости от отношения сигнал-шум.

Ключевые слова: машинное обучение; нейронная сеть; OFDM модуляция; оценка сигнала; вероятность ошибки; глубокое обучение.

Ни для кого не секрет что искусственный интеллект уже плотно укоренился в ежедневной деятельности большинства людей, по крайней мере студентов. И так как его использование становится все более и более обыденным, возникла идея применить его в системах OFDM – системах с ортогональным частотным разделением каналов (англ. Orthogonal frequency-division multiplexing). К примеру, данный метод цифровой модуляции используется в современных роутерах и еще много где (Wi-Fi, WiMax, LTE и так далее).

В качестве же самой нейронной сети будем использовать LSTM сеть – сеть с долгой кратковременной памятью (Long short-term memory). Это особая разновидность рекуррентных нейронных сетей (сетей, содержащих обратные связи и способные сохранять информацию), которая способна обучаться долговременным зависимостям. Простым языком – данные нейронные сети запоминают информацию на долгие периоды времени.

Рассмотрим общую модель системы связи с OFDM модуляцией и параллельно работу нейронной сети на рис. 1.

Со стороны передатчика передаваемые символы вместе с пилотными несущими первым делом преобразуются в параллельные потоки данных. После этого используется обратное быстрое преобразование Фурье (IDFT) для преобразования сигнала из частотной области во временную область. Далее к сигналу во временной области добавляется циклический префикс (CP – Cyclic Prefix), который служит для борьбы с явлением межсимвольной интерференции (ISI – Intersymbol interference). Далее потоки преобразуются из параллельных в один последовательный и отправляются в канал связи, где на него действуют помехи.

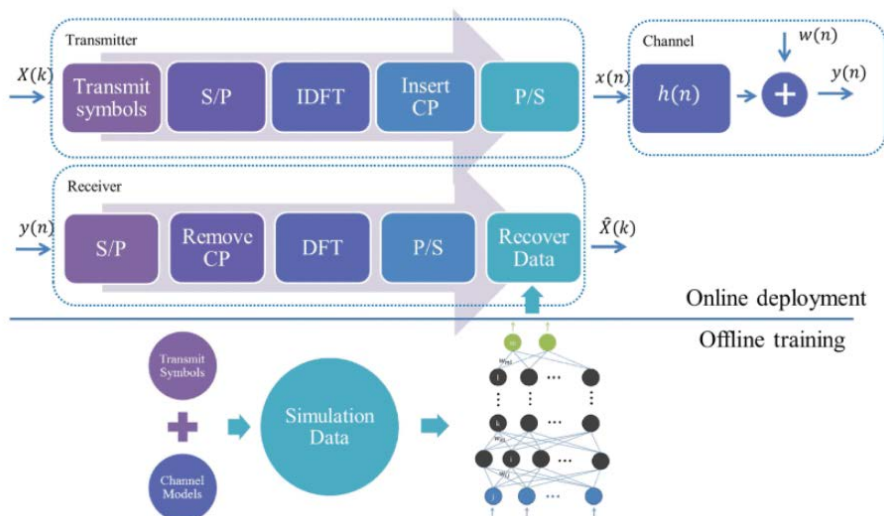


Рис. 1. Структурная схема OFDM передатчика и приемника, а также схема обучения нейронной сети

На приемной же стороне осуществляются точно такие же, только обратные операции над принятым сигналом с помехой, как показано на общей схеме. На выходе приемника выходит тот же отправленный сигнал, только с помехой.

Что же касается нейронной сети, то она состоит из входного, выходного и нескольких скрытых слоев, связанных между собой скрытых слоев, во всех них под ячейкой памяти понимается нейрон. Стоит сказать, что глубокое обучение (Deep Learning) является подмножеством множества машинного обучения (Machine Learning), что в свою очередь является подмножеством множества искусственного интеллекта (Artificial Intelligence) На входной слой поступают входные данные (Input Data), с выходного слоя получают выходные данные (Output data). Структуру нейронной сети можно поближе разглядеть на рис. 2.

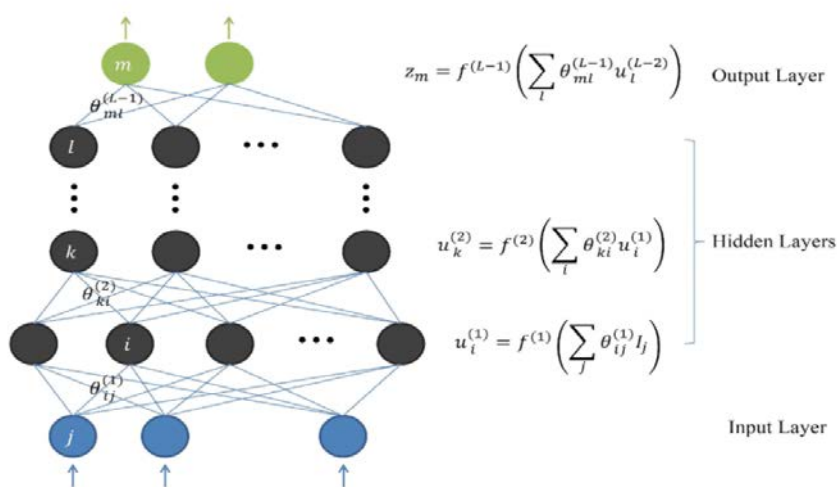


Рис. 2. Структура нейронной сети

Как видно из модели нейронной сети, в скрытых слоях для определения весов используются Relu-функции, или Сигмоидная функция в качестве функции активации (Sigmoid function). Именно с помощью Relu-функций, которые были внедрены в нейронную сеть относительно недавно, стало возможно обучать нейронные сети с несколькими скрытыми слоями (с помощью этих функций меняются веса предыдущих скрытых слоев).

Все исследования проводились в среде программирования Matlab.

Для обучения нейронной сети на основании параметров системы связи, т.е задается количество несущих символов, пилотных символов и так далее, после чего генерируются обучающие файлы с данными для нейронной сети, а именно данные, которые поступают на вход (массив входных данных), и данные, которые должны быть получены на выходе обучения модели и так далее, в том числе файл с конфигурацией системы для дальнейшего использования.

При самом обучении нейронной сети с учетом сгенерированных ранее обучающих данных, создается и сохраняется модель нейронной сети для

работы с системой связи именно с конкретными заданными параметрами (количество несущих символов, пилотных символов и так далее).

В конечном счете, после всех необходимых операций строятся графики вероятности ошибок на приемной стороне (SER – Symbol error rate) в зависимости от отношения сигнал-шум в дБ (E_s/N_0), причем нам же надо оценить качество точности приема сигналов. Параллельно с кривой, отображающей точность приема с использованием обученной нейронной сети, на графике так же строятся кривые, построенные с задействованием известных методов оценивания точности приема, а именно метод Наименьших квадратов (LS – Least Square) и метода наименьшей среднеквадратичной ошибки (MMSE – Method mean square error).

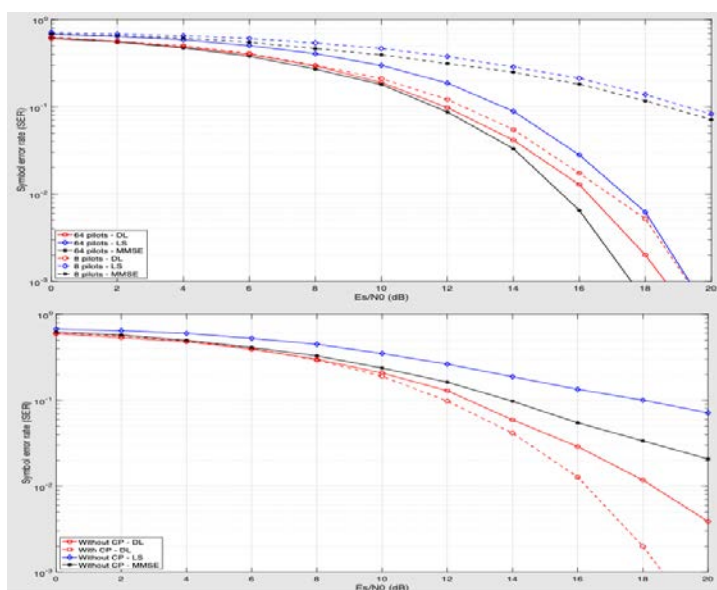


Рис. 3. Графики зависимости ошибки принятия символа (SER) от отношения сигнал шум в канале связи

Судя по текущим данным, в результате экспериментов была выявлена зависимость, что при уменьшении количества пилотных несущих относительно того же количества общего количества несущих, метод с задействованием глубокого обучения (DL – Deep Learning) показывает себя лучше, а, следовательно, эффективнее относительно метода LS и MMSE. Метод с DL так же работает более эффективно при увеличении длины циклического префикса (CP).

Можно сказать, что несмотря на распространенность использования нейронных сетей в современном мире, данная область так же остается малоизвестной, что будет служить отличным стимулом для новых открытий в области искусственного интеллекта, а также новых модификаций привычных технологий и методов с задействованием нейронных сетей.

Библиографический список

1. Дворкович, В.П., Дворович А.В. Цифровые видеоинформационные системы (теория и практика) :– Москва : Техносфера, 2012. – 1008 с.

2. Yong Soo Cho, Jaekwon Kim, Won Young Yang, Chung-Gu Kang MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB: IEEE PRESS 2010 – 439 с.

3. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB 6.5 SP1/7/7 SPI/7 SP2 + Simulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики.–М.: СОЛОН-Пресс, 2024. – 454с.: ил

4. Типкин А.А. Моделирование систем связи в MALAB с помощью пакета расширения Communication Toolbox. Практическое руководство по применению

в двух частях. Часть вторая - М.: СОЛОН-Пресс, 2022. – 384 с.: ил

5. Романов П.С. Системы искусственного интеллекта. Моделирование нейронных сетей в системе MATLAB. Лабораторный практикум: учебное пособие для вузов / П.С. Романов, И.П. Романова – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 140 с.: ил. – Текст: непосредственный.

© Галеев З.З., Буткин М.С., 2024

УДК 004.415.25

З.З. ГАЛЕЕВ, М.С. БУТКИН

gazuzza050603@gmail.com, МММах521@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.З. ТЛЯВЛИН**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ БЕССЕЛЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ВЫЧИСЛЕНИЯ

Аннотация: в данной работе исследуются функции Бесселя, их свойства и применение в различных областях науки и техники. Рассматриваются методы численного вычисления значений функций Бесселя, а также алгоритмы, позволяющие автоматизировать этот процесс. Результаты исследования могут быть использованы для разработки программного обеспечения, облегчающего вычисления и анализ данных, связанных с функциями Бесселя.

Ключевые слова: функции Бесселя; численные методы; программное обеспечение; автоматизация вычислений; алгоритмы; анализ данных; специальные функции; электромагнитные волны.

Функции Бесселя являются одним из ключевых компонентов в математическом анализе, имеющим широкое применение в различных областях науки и техники. Они возникают в решениях дифференциальных уравнений (1), описывающих физические явления, такие как распространение волн, теплопередача и динамика твердых тел. В частности, функции Бесселя $J_n(x)$

представляют собой решения уравнения Бесселя, которое часто появляется в задачах, связанных с цилиндрической симметрией. [1-2]

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - n^2)y = 0 \quad \#(1)$$

Свойства функций Бесселя делают их особенно полезными в научных расчетах. Например, функции Бесселя обладают ортогональностью, что позволяет использовать их в методах разложения и приближения. [3] Это свойство находит применение в различных численных методах, таких как метод конечных элементов, где функции Бесселя могут служить базисными функциями для аппроксимации решений. Кроме того, функции Бесселя имеют рекуррентные соотношения (2), позволяющие вычислять значения для различных порядков n , что значительно упрощает процесс вычисления.

$$J_{n-1}(x) + J_{n+1}(x) = \frac{2n}{x} J_n(x) \quad \#(2)$$

Асимптотическое поведение функций Бесселя также играет важную роль в численных расчетах. При больших значениях аргумента x функции $J_n(x)$ ведут себя предсказуемо, что позволяет использовать упрощенные формулы для их вычисления (3). Это особенно полезно в случаях, когда требуется высокая скорость вычислений, например, в моделировании физических процессов в реальном времени.

$$J_n(x) \rightarrow \sqrt{\frac{2}{\pi x}} \cos\left(x + \frac{n\pi}{2} - \frac{\pi}{4}\right) \quad \#(3)$$

Существует несколько методов вычисления функций Бесселя, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Одним из наиболее простых способов является использование табулированных значений, которые позволяют быстро находить значения функций с заданной точностью. [4-6] Таблицы значений функций Бесселя могут быть полезны, особенно для небольших аргументов, где доступные значения можно легко интерполировать.

Однако для больших аргументов использование табулированных значений может быть менее эффективным, так как таблицы могут не охватывать все необходимые диапазоны. В таких случаях рекуррентные соотношения (2) могут быть более предпочтительными, так как они позволяют получать значения последовательно и могут значительно ускорить процесс вычислений.

Также стоит отметить, что специализированные алгоритмы, такие как алгоритм Кэли, могут использоваться в сочетании с табулированными значениями для повышения точности вычислений при больших аргументах. Эти алгоритмы применяют различные техники, такие как интерполяция и экстраполяция, чтобы уменьшить ошибки, возникающие при вычислении функций Бесселя. Важно учитывать, что выбор метода вычисления зависит от конкретных задач и требований к точности.

Автоматизация вычислений функций Бесселя представляет собой актуальную задачу, которая может значительно упростить работу

исследователей и инженеров, особенно в контексте улучшения существующей программы "ЭМП в круглом проводнике" (Рис. 1), уже реализованной на языке Python. Доработка программного обеспечения для автоматизированного вычисления функций Бесселя может включать в себя несколько этапов, которые помогут повысить функциональность и точность данной программы.

Первым шагом в улучшении программы "ЭМП в круглом проводнике" является оптимизация текущего кода и интеграция новых алгоритмов для вычисления функций Бесселя, таких как $J_n(x)$. В настоящее время в программе применялась только интерполяция табличных значений, что может ограничивать как точность, так и гибкость вычислений. Это особенно ярко проявляется на рис. 2а, где наблюдается "угловатость" графика, что указывает на недостаточную точность в областях с высокой изменчивостью функции. На рис. 2б также демонстрируется ограниченность табулированных значений, что негативно сказывается на качестве вычислений и их способности адекватно отражать поведение функции.

Ограниченность табулированных значений функций Бесселя объясняется количеством целых значений, которое, как правило, не превышает десяти. Данное ограничение существенно влияет на качество вычислений и их способность адекватно моделировать поведение функции, особенно в тех областях, где требуется высокая точность и детальное понимание изменений значений функции.

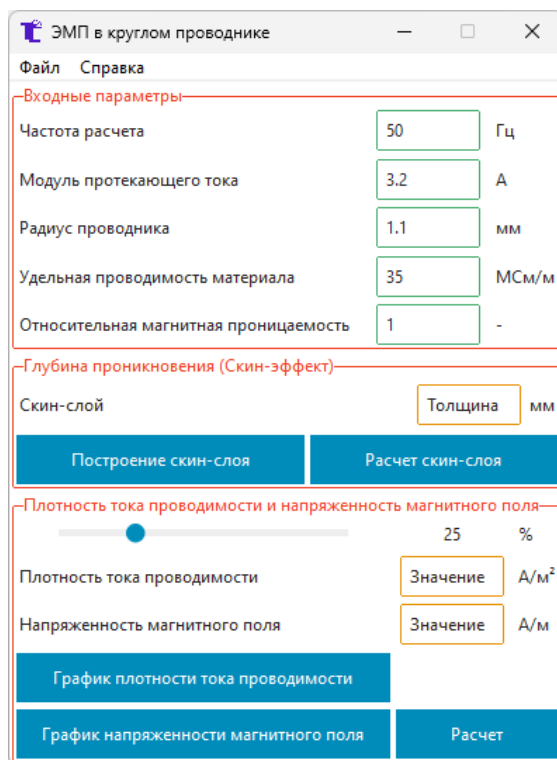


Рис. 1. Главное окно программы "ЭМП в круглом проводнике"

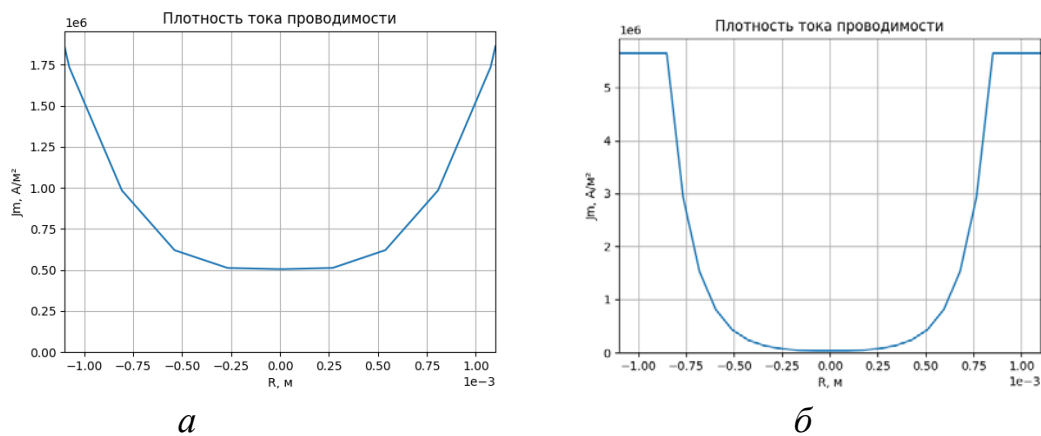


Рис. 2. Графики плотности тока проводимости

Следующим этапом станет доработка пользовательского интерфейса (Рис. 1), который позволит пользователям легко задавать параметры и получать результаты без необходимости глубоких знаний в области программирования.

Тестирование и валидация программного обеспечения остаются важными этапами разработки. Необходимо протестировать обновлённую программу на различных примерах и сравнить результаты с известными значениями, чтобы убедиться в её точности и надёжности. Это может включать в себя сравнение с результатами, полученными из известных справочников или специализированных библиотек, что повысит доверие пользователей к программе "ЭМП в круглом проводнике".

Функции Бесселя находят применение в различных областях, таких как физика, инженерия и астрономия. [7-10] В частности, они играют важную роль в описании явлений, связанных с волновыми процессами и колебаниями. Например, в контексте программы "ЭМП в круглом проводнике" функции Бесселя могут использоваться для моделирования распространения электромагнитных волн в цилиндрических системах. Это особенно актуально для анализа поведения электрических и магнитных полей, поскольку многие физические системы имеют цилиндрическую симметрию. [11]

Функции Бесселя позволяют точно описывать распределение полей в таких системах, что является ключевым для понимания их характеристик. В частности, они помогают определить, как электромагнитные волны взаимодействуют с материалами, а также как они распространяются в различных условиях. Использование функций Бесселя в данной программе способствует более глубокому анализу и моделированию, позволяя инженерам и ученым предсказывать поведение систем в реальных условиях.

Таким образом, исследование функций Бесселя и разработка методов их численного вычисления являются важными задачами, способствующими развитию научных исследований и инженерной практики. Автоматизация вычислений позволит значительно упростить процесс анализа данных и повысить эффективность работы исследователей и инженеров, открывая новые горизонты для применения функций Бесселя в рамках программы "ЭМП в круглом проводнике" и в других областях науки и техники.

Библиографический список

1. George B. Arfken, Hans J. Weber, Frank E. Harris, *Mathematical Methods for Physicists (Seventh Edition)*, Academic Press, 2013, ISBN 9780123846549, pp. 643-713, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384654-9.00030-X>.
2. Erwin Kreyszig., *Advanced Engineering Mathematics*, 10th Edition, 2018, ISBN: 978-1-119-44684-2, pp. 187-199.
3. Пастухова, Е.В. (2011). О некоторых свойствах цилиндрических функций Бесселя 1-го рода. *Arctic Environmental Research*, (1), 118-121. doi: 10.24412/FdteZxsBJtM
4. Table of the Bessel functions $J_0(z)$ and $J_1(z)$ for complex arguments. N.Y.: Columbia Univ. Press, 1943. (Рус. перев.: Таблицы функций Бесселя $J_0(z)$ и $J_1(z)$ в комплексной области. М.: ВЦ АН СССР, 1963. Библиотека матем.таблиц. Вып. 22.)
5. Table of the Bessel functions $Y_0(z)$ and $Y_1(z)$ for complex arguments. N.Y.: Columbia Univ. Press, 1947. (Рус. перев.: Таблицы функций Бесселя $Y_0(z)$ и $Y_1(z)$ в комплексной области. М.: ВЦ АН СССР, 1963. Библиотека матем. таблиц. Вып. 23.)
6. Tables of spherical Bessel functions. N.Y.: Columbia Univ. Press, 1947. V. 1, 2. (Рус. перев.: Таблицы сферических функций Бесселя. Т. 1, 2. М.: ВЦ АН СССР, 1963. Библиотека матем. таблиц. Вып. 20, 21.)
7. Byerly, W. E. "Cylindrical Harmonics (Bessel's Functions)." Ch. 7 in *An Elementary Treatise on Fourier's Series, and Spherical, Cylindrical, and Ellipsoidal Harmonics, with Applications to Problems in Mathematical Physics*. New York: Dover, pp. 219-237, 1959.
8. Gray, A. and Mathews, G.B. *A Treatise on Bessel Functions and Their Applications to Physics*, 2nd ed. New York: Dover, 1966.
9. McLachlan, N. W. *Bessel Functions for Engineers*, 2nd ed. with corrections. Oxford, England: Clarendon Press, 1961.
10. Никифоров А.Ф., Уваров В.Б. *Специальные функции математической физики*. М.: Наука, 1978. 320 с.
11. Robert E. Collin, "Field Theory of Guided Waves" in Wiley-IEEE Press, p. 864, 1991, doi: 10.1109/LWC.2019.2962796.

© Галеев З.З., Буткин М.С., 2024

УДК 621.3

А.А. ИВАНОВ

ivanov.aa@ugatu.su

Науч. руковод. – канд. техн. наук, **Г.С. ВОРОНКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ В СОСТАВЕ СИСТЕМ «УМНЫЙ ГОРОД»

Аннотация: в статье представлен экспериментальный стенд интеллектуальной системы управления отоплением. Показан состав установки и алгоритм ее работы.

Ключевые слова: промышленный интернет вещей; интеллектуальные системы управления.

Стремительное развитие цифровых технологий все больше влияет на многие сферы деятельности человека и способствует активному росту уровня жизни. При строительстве современных многоквартирных домов начинают активно внедряться интеллектуальные системы управления [1]. Энергосбережение и автоматизация процессов являются ключевыми задачами при построении современных интеллектуальных систем управления, в том числе и систем отопления [2].

Для решения этой задачи была разработана интеллектуальная система управления отоплением, способная в реальном времени собирать и обрабатывать данные и регулировать температуру в помещениях. На базе микроконтроллера ESP8266 был разработан и собран опытный образец контроллера управления системой отопления (рис. 1).

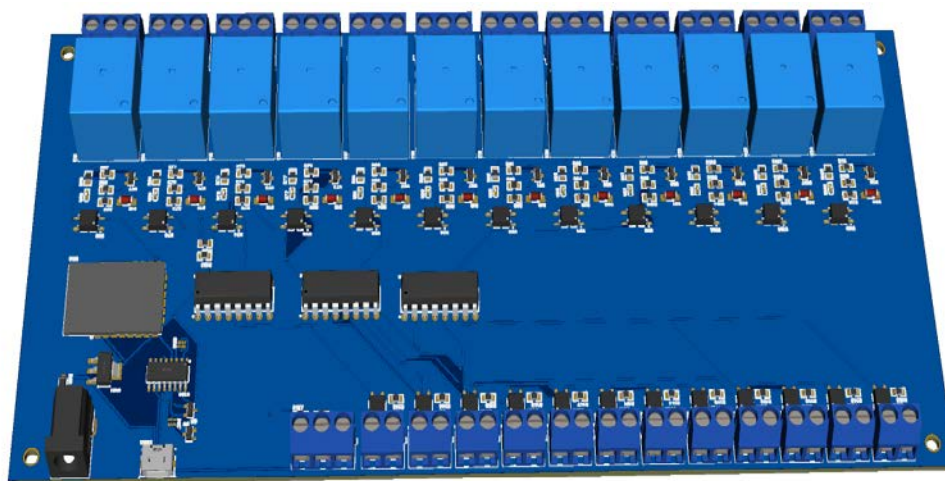


Рис. 1. Плата контроллера управления системой отопления

В текущей реализации присутствуют 24 дискретных порта ввода/вывода для подключения измерительных датчиков или же устройств управления (краны, нагреватели, насосы и тд.). Наличие Wi-Fi модуля, а также предустановленный MQTT-клиент, позволяют интегрировать данный контроллер в АСУ ТП для взаимодействия с промышленными контроллерами или устройствами промышленного интернета вещей (IIoT) через OPC UA сервера и реализовывать диспетчеризацию системы отопления.

В рамках алгоритма контроллер осуществляет сбор параметров и состояний с температурных датчиков, нагревательных и регулирующих устройств. На основе полученных данных составляется система линейных уравнений и методом Гаусса находятся коэффициенты итогового полинома, на базе которого осуществляется корректировка состояний исполнительных устройств в системе отопления для поддержания заданной температуры. Выбранный метод исключает необходимость использовать рекурсивные функции, что позволяет снизить требования к объему оперативной памяти и скорости вычислений для процессора управляющего контроллера.

В алгоритме вынесен отдельный метод для первичного анализа поведения интеллектуальной системы отопления и последующей индукции состояний для корректировки и снижения влияния инертных составляющих при регулировании температуры. Для этого алгоритм поэтапно изменяет состояния управляющих устройств нижнего уровня и на основе температурных изменений выявляет время реакции и силу инерционных составляющих. Далее на основе полученных данных производит корректировку коэффициентов в итоговой формуле. Дальнейшая корректировка коэффициентов производится на основе накопительного анализа на протяжении всей последующей работы интеллектуальной системы отопления.

Для работы с данными и матричными расчетами был описан отдельный класс с методами для формирования и обработки квадратных матриц произвольного размера, что позволит при необходимости добавлять больше устройств с влияющими параметрами для уточнения итоговой формулы регулирования системы. В качестве контейнера для динамически обрабатываемых значений был выбран контейнер `Vector` из библиотеки `STL` для гарантированного устранения утечек памяти, критически недопустимых в контроллерах.

Для подтверждения работоспособности разработанного устройства был собран тестовый стенд, состоящий из управляющего микроконтроллера на базе ESP8266, контроллера Prosoft Regul 200, насоса, нагревателя, крана с приводом и радиатора в замкнутом объеме. К аналоговым портам Regul 200 подключены термопары (рис. 2).

Термопары встроены непосредственно в трубопроводы, для точного измерения температуры теплоносителя на разных участках замкнутого контура. Промышленный контроллер выступает как элемент системы АСУ ТП для проверки совместимости IIoT устройств с программируемыми логическими контроллерами (ПЛК)

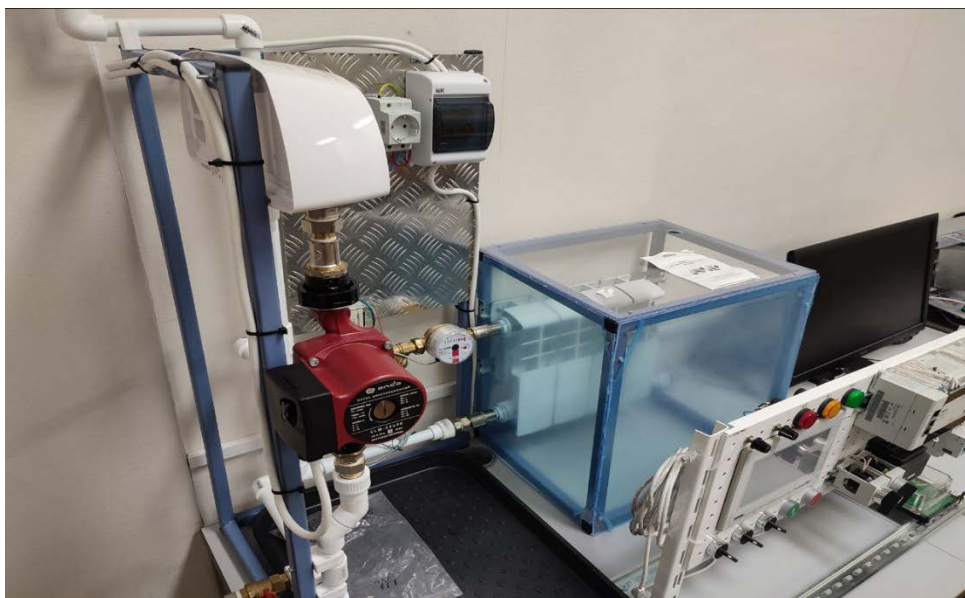


Рис. 2. Экспериментальный стенд интеллектуальной системы отопления

Микроконтроллер ESP8266 обрабатывает в режиме реального времени данные об изменении температур, полученных от ПЛК по Wi-Fi соединению через OPC UA сервер по протоколу MQTT и, согласно алгоритму на базе динамических матричных расчетов, регулирует степень открытия крана и меняет режим работы нагревательного элемента, тем самым регулируя температуру внутри помещения. Визуализация системы отопления для диспетчеризации выполнена в качестве мнемосхемы в Master SCADA 4D.

В ходе эксперимента были выявлены проблемы инерционности системы при регулировании. Частичное сглаживание температурного разброса в замкнутом пространстве решается обучаемостью системы и автоматическим перерасчетом коэффициентов при циклическом накоплении данных, однако при первичном запуске система управления обладает высокой инертностью ввиду отсутствия индуктивной базы зависимых параметров, характеризующих специфические особенности контролируемого помещения.

Библиографический список

1. Yaïci W. и др., Internet of Things (IoT)-Based System for Smart Home Heating and Cooling Control// International Conference on Environment and Electrical Engineering, 2022, pp. 1-6.
2. Altayeva A.,Omarov B. Intelligent Microclimate Control System Based on IoT// International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 2016. С. 254-261.

© Иванов А.А., 2024

З.У. ИЛЬЯСОВА, И.Ф. САЛАВАТОВА

Salavatovailsiya@gmail.com

Науч. рук. д-р тех. наук, проф. **В.Х. БАГМАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРЕДАЧА ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО МНОГОМОДОВЫМ ОПТИЧЕСКИМ ВОЛОКНАМ

Аннотация: в работе рассматривается вопрос о предельных возможностях передачи изображений по межмодовым волокнам. Получены теоретические результаты позволяющие оценить число передаваемых мод из которых komponуется изображение в зависимости от расстояния и параметров волокна.

Ключевые слова: передача изображения; оптическое волокно; межмодовые волокна.

Использование многомодовых оптических волокон для передачи изображения является актуальной проблемой как с теоретической точки зрения [1, 2] так и с точки зрения практического применения. Так, например, оптическое волокно в силу относительно малых поперечно размеров может быть использовано в медицине при проведении эндоскопических исследований внутренних органов [3].

Общий подход к проблеме передачи изображений по волноводам дан в обзоре [1].

Проблема состоит в том, что общее число мод оптического волокна ограничено в принципе и только некоторые части из общего числа мод может участвовать в формировании изображений, что ограничивает качество передаваемого изображения.

Постановка задачи состоит в следующем. Пусть необходимо передать изображение, которое в цилиндрической системе координат описывается радиально-угловым распределением $\varphi(\rho, \varphi)$.

Тогда во входном сечении можно с определенной возможностью аппроксимировать данные распределения в виде разложения по ортогональной системе функций $\psi_{n,m}(\rho, \varphi)$, описывающих моды, распространяющихся в волокне электромагнитных волн так, что:

$$\varphi(\rho, \varphi) = \sum_{n,m \in \Omega} C_{n,m} \psi_{n,m}(\rho, \varphi), \#(1)$$

где n – радиальной, m – азимутальной индексы собственных мод волокна, Ω – некоторое множество индексов мод достаточных для аппроксимации с заданной точностью. Очевидно, что точность аппроксимации будет определяться общим числом мод N составляющих множество Ω .

В выходном сечении волокна, в точке с координатной z будет, сформировано изображение:

$$\varphi(\rho, \varphi, z) = e^{i\beta_{00}z} \sum_{n,m} C_{nm} \psi_{n,m}(\rho, \varphi) \cdot e^{i(\beta_{nm} - \beta_{00})z} \#(2)$$

где $\beta_{n,m}$ постоянная распространения моды (n, m) .

Тогда, если будет существовать сечение $z = l$, называемое синфазным для которого при всех индексах (n, m) будет выполняться условие:

$$e^{i(\beta_{mn} - \beta_{00})l} = 1 \#(3)$$

то в этом сечении изображение $\varphi(\rho, \varphi)$ самовосстанавливается:

$$\varphi(\rho, \varphi, l) = \varphi(\rho, \varphi) \#(4)$$

Условие (3) эквивалентно условию:

$$(\beta_{mn} - \beta_{00})l = 2\pi \cdot s \#(5)$$

где $s = 1, 2, 3, \dots$

из (5) следует, что исходное изображение будет самовоспроизводящимся не только в сечении $z = l$, но и в сечениях $z = l \cdot s$.

В качестве примера рассмотрим градиентное волокно с параболическим профилем показателя преломления:

$$n(\rho) = n_0 \sqrt{1 - \tau^2 \cdot \rho^2} \#(6)$$

$$\text{где } \tau^2 = \frac{2\Delta}{\alpha^2}, \quad \Delta = \frac{n_0^2 - n_1^2}{2n_0^2},$$

параметра соответствуют радиусу сердцевины волокна, параметры n_0 и n_1 соответствуют показателям преломления сердцевины и оболочки.

В данном случае постоянная распространения будет определяться соотношением:

$$\beta_{n,m} = kn_0 \sqrt{1 - \frac{2\tau}{kn_0} M} \#(7)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$, λ длина волны в вакууме.

$$M = 2n + m + 1 \#(8)$$

Для параксиальных мод, удовлетворяющих условию $\frac{2\tau M}{kn_0} < 1$, выражение (7) можно разложить в ряд Тейлора. Ограничиваясь первыми двумя членами, получим:

$$\beta_{mn} - \beta_{00} \approx -\tau(M - 1) - \frac{\tau^2(M^2 - 1)}{2kn_0} \#(9)$$

Исходя из соотношений (9) и (5) можно определить местоположения синфазных сечений:

$$z = \frac{2\pi}{\tau} \cdot s \#(10)$$

где $s = 1, 2, 3, \dots$

Рассматривая второй член в выражении (9) как малую поправку к первому члену и, потребовав малость набегу фазы, взяв в качестве критерия

величину $\frac{\pi}{2}$, получим оценку для определения максимального расстояния, на которое можно передать изображение по оптическому волокну:

$$z = 2_0 \frac{\alpha^2}{\lambda \cdot \Delta \cdot (M^2 - 1)_{max}} \quad \#(11)$$

Общее число мод, передаваемых на максимальное расстояние, определяется числом M , то есть решением уравнения (8). методика решений уравнений данного типа изложено в работе [4]. В качестве примера можно оценить, что кварцевого оптоволокна при $\lambda \sim 1$ мкм, $\alpha = 100$ мкм, $\Delta \sim 0,01$ на расстоянии ~ 30 см можно передать 3 моды: (4,-2), (5,0), [4,2].

Библиографический список

1. Е.Е. Григорьева, А.Т. Семенов, Волноводная передача изображений в когерентном свете, Квантовая электроника. 1978. том 5. № 9. 1877-1895 с.
2. А.Т. Семенов, Волноводная передача изображений в когерентном свете на большие расстояния, Квантовая электроника. 1979. том 6. № 8. 1804-1807 с.
3. A. Lucesoli, T. Rozzi. Image transmission by multimode optical fiber for microendoscopy: Proc. of SPIE-OSA Biomedical Optics, SPIEVOL. 6631, 663117. 2007.
4. Дифференциальная оптика. Под ред. В.А. Сойфера. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2007. 736 с.

© Ильясова З.У., 2024

УДК 621.376.9

Р.О. САЛЬНИКОВ

kosshak17@yandex.ru

Науч. руковод. – док. техн. наук, проф. **А.Х. СУЛТАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИГНАЛЬНО-КODOVЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ГИБРИДНЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Аннотация: в статье рассматриваются методы оптимизации сигнально-кодовых конструкций для систем связи пятого и шестого поколений с учетом специфики гибридных спутниково-наземных сетей. Проанализированы основные подходы к снижению пик-фактора сигналов, включая классические

методы и современные гибридные технологии. Представлены результаты исследования эффективности различных типов формирующих фильтров. Предложены практические рекомендации по применению методов оптимизации в зависимости от условий функционирования систем связи.

Ключевые слова: пик-фактор; OFDM; DFT-s-OFDM; формирующая фильтрация; гибридные сети связи; спутниковая связь; 5G; 6G.

Современное развитие телекоммуникационных систем характеризуется активным внедрением спутниковых компонентов в наземные сети связи 5G и 6G. Особый интерес представляют низкоорбитальные спутники, располагающиеся на высоте 300-1500 км и движущиеся по круговым орбитам.

При проектировании систем связи с низкоорбитальными спутниками необходимо учитывать несколько ключевых технических вызовов. Прежде всего, это доплеровский сдвиг частоты, который варьируется в зависимости от используемого диапазона: в диапазоне S (2 ГГц) он составляет ± 48 кГц, в диапазоне Ka при 20 ГГц достигает ± 480 кГц, а при 30 ГГц увеличивается до ± 720 кГц. Скорость доплеровского изменения также различается: 544 Гц/с в диапазоне S, 5,44 кГц/с в Ka-диапазоне 20 ГГц и 8,16 кГц/с в Ka-диапазоне 30 ГГц [1, 2]

Развитие современных систем связи характеризуется переходом к гибридным сетевым архитектурам, объединяющим наземный и космический сегменты. Одной из ключевых проблем при этом становится высокий пик-фактор сигналов, особенно критичный для спутниковых каналов связи. Пик-фактор, определяемый как отношение максимальной мощности сигнала к средней, существенно влияет на энергетическую эффективность систем связи и качество передачи данных.

В современных системах связи применяются различные подходы к снижению пик-фактора. Классический метод клиппинга, основанный на ограничении амплитуды сигнала, прост в реализации, но приводит к появлению внутрисполосных и внеполосных помех. Более совершенные методы используют специальные алгоритмы кодирования и предварительной обработки сигналов. Особую роль играют технологии на основе дискретного преобразования Фурье, такие как DFT-s-OFDM, позволяющие снизить пик-фактор на 2-4 дБ по сравнению с классическим OFDM.

Значительный интерес представляют гибридные методы обработки сигналов, в частности, ZT-DFT-s-OFDM и UW-DFT-s-OFDM. Технология ZT-DFT-s-OFDM использует зануление хвостов блоков данных, что позволяет снизить уровень внеполосных излучений при сохранении возможности частотного канального выравнивания. UW-DFT-s-OFDM применяет уникальные последовательности в защитных интервалах, обеспечивая дополнительные возможности для борьбы с искажениями в канале связи.

Особое внимание в работе уделено методам формирующей фильтрации. Исследованы четыре типа фильтров: классический фильтр с косинусоидальным спадом (RC), его корневой вариант (RRC), полосовой косинусоидальный

фильтр (BTRC) и его оптимизированная версия (OBTRC). Импульсные характеристики фильтров представлены на рис. 1.

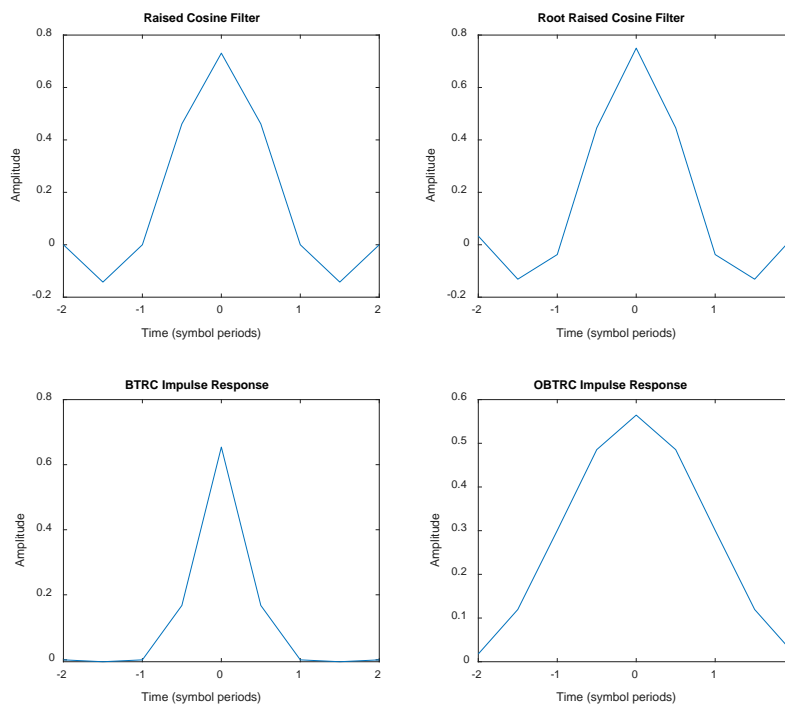
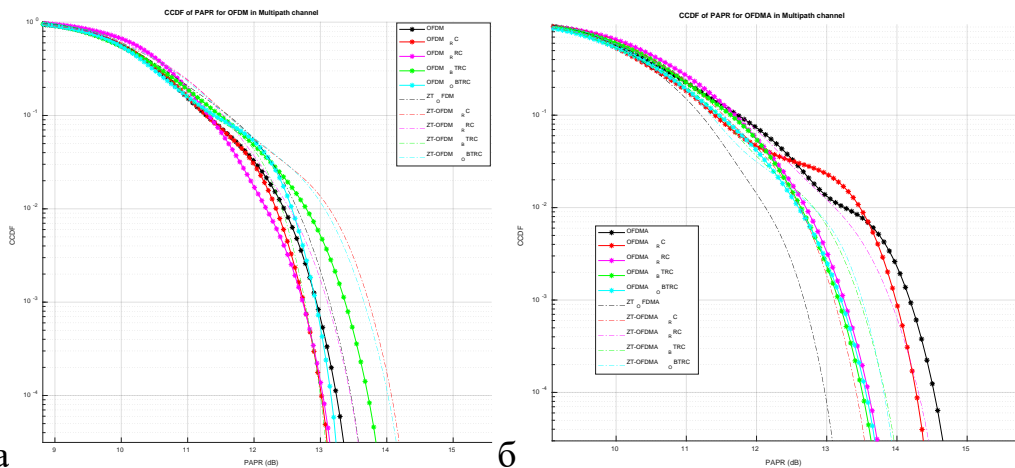


Рис. 1. Графики импульсных характеристик фильтров RC, RRC, BTRC, OBTRC

Экспериментальные исследования показали, что применение формирующей фильтрации позволяет дополнительно снизить пик-фактор на 0,4-0,5 дБ для систем на основе OFDM. При этом наилучшие результаты достигаются при использовании фильтра OBTRC, особенно в сочетании с технологией DFT-s-OFDM, что отчетливо видно на рис. 2(в). В условиях спутникового канала связи с выраженным эффектом Доплера комбинация методов формирующей фильтрации и гибридных технологий обработки сигналов обеспечивает стабильное снижение пик-фактора при сохранении приемлемого качества передачи данных.



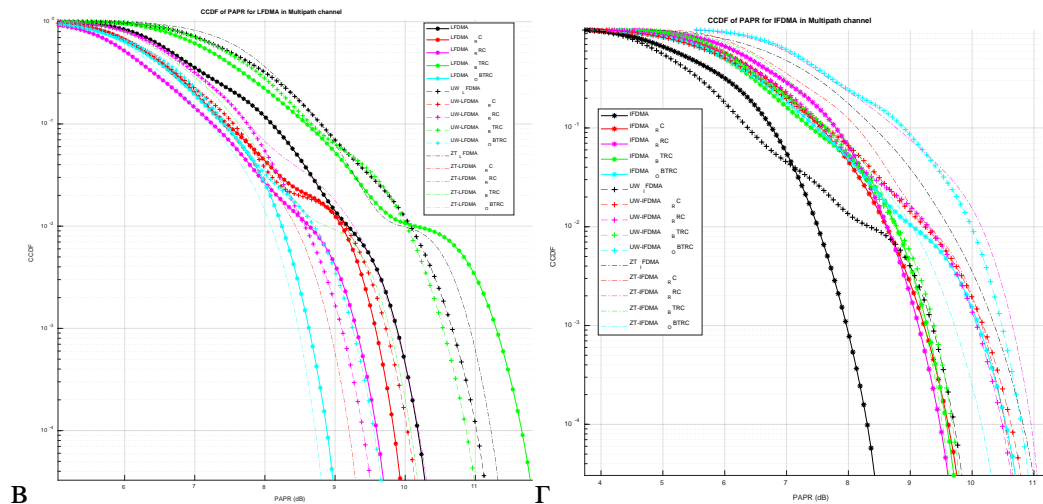


Рис. 2. Графики зависимости PAPR к CCDF для всех представленных технологий обработки в сложном канале при разнесении поднесущих в 360 кГц:
 а) OFDM; б) OFDMA; в) LFDMA; г) IFDMA;

Проведенные исследования позволяют сформулировать практически рекомендации по применению методов оптимизации сигнально-кодовых конструкций. Для систем с жесткими требованиями к энергетической эффективности рекомендуется использовать комбинацию DFT-s-OFDM с формирующей фильтрацией на основе OBTRC. В условиях сильных помех целесообразно применение гибридных методов с использованием уникальных последовательностей в защитных интервалах.

Библиографический список

1. Пехтерев С.В., Макаренко С.И., Ковальский А.А. Описательная модель системы спутниковой связи Starlink // Системы управления, связи и безопасности. 2022. № 4. С. 190-255.
2. Ozger M. et al. 6G for Connected Sky: A Vision for Integrating Terrestrial and Non-Terrestrial Networks // 2023 Joint European Conference on Networks and Communications & 6G Summit. 2023. P. 711-716.
3. Tong W., Zhu P. 6G: The Next Horizon From Connected People and Things to Connected Intelligence. Cambridge University Press, 2021, 624 p.
4. Berardinelli G., Tavares F.M.L., Sørensen T.B. Zero-tail DFT-spread-OFDM signals. IEEE Globecom Workshops, 2013, pp. 229-234.
5. Ochiai H. Peak Power Properties of Band-Limited Signals: With Pulse Shaping Or Windowing. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2024.
6. Lee S.J., Beaulieu N.C. Performance Comparison of Non-Data-Aided Symbol Timing-Error Detection for the Raised-Cosine and "Better Than" Raised-Cosine Pulses. IEEE Transactions on Communications, 2009, vol. 57, no. 5, pp. 1261-1264.

7. Assimonis S.D., Matthaiou M., Karagiannidis G.K. Optimized "better than" raised-cosine pulse for reduced ICI in OFDM systems. International Conference on Telecommunications, 2010, pp. 249-252.

© Сальников Р.О., 2024

УДК 004.93

А.Д. ХАЙРЕТДИНОВА

khairtadinova826@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, **Г.С. ВОРОНКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ПЧЕЛОВОДСТВЕ

Аннотация: в статье описаны подходы к применению технологий Интернета вещей в пчеловодстве как отрасли сельского хозяйства. Сформулированы требования к данным, необходимым для анализа жизнедеятельности пчел, приведен краткий обзор интеллектуальных методов анализа звуков, издаваемых пчелами.

Ключевые слова: интернет вещей; сенсорные системы; анализ звука.

Пчеловодство – сфера, в которую активно внедряются технологии Интернета вещей. Так, пчеловодам необходимо применять особые усилия, чтобы выявить любые проблемы с ульями до или по мере их возникновения, что требует достаточно много времени и сил. С IoT (Internet of Things, интернет вещей) возможна своевременная оценка обстановки в улье, что повысит качество жизни пчел.

Медоносные пчелы играют важнейшую роль в глобальной экономике, так как они отвечают за опыление сельскохозяйственных культур, которые обеспечивают более треть мирового продовольствия [1]. Хотя открытой статистики по экономической ценности медоносных пчел в Российской Федерации нет, по данным 2019 года, в США их вклад в сельскохозяйственную промышленность оценивался в сумму от 21,22 до 54,75 миллиарда долларов в год [2]. Поэтому неудивительно, что проблемы, приводящие к сокращению численности пчел, стали объектом интенсивных исследований в последние годы, наряду с поиском эффективных решений этих проблем.

Одним из ключевых аспектов является оценка состояния ульев. Большинство пчеловодов определяют здоровье своих ульев через визуальный осмотр и анализ окружающей среды на предмет возможных проблем. Однако, по мере увеличения количества ульев, эффективность такого подхода снижается. Это подчеркивает необходимость новых методов, которые позволят

проводить более частый мониторинг большого числа ульев с минимальным вмешательством в их жизнедеятельность.

Эффективная система мониторинга ульев может значительно сократить потери популяции медоносных пчел, давая пчеловодам возможность удаленно оценивать состояние своих ульев. Кроме того, такой подход снижает стресс для пчел, так как не требует вскрытия ульев для осмотра. Современные технологические ресурсы предоставляют множество возможностей для совершенствования этого подхода.

Первый шаг к созданию надежной системы мониторинга ульев — это разработка механизма для сбора качественных данных для анализа. Такая система должна быть недорогой и устойчивой к воздействию внешней среды. Компоненты системы, находящиеся внутри улья, должны выдерживать высокую влажность и температуру, а также частые беспокойства и атаки пчел. Внутренние компоненты также должны быть выполнены так, чтобы пчелы не могли покрыть их прополисом или другими продуктами жизнедеятельности. При этом система мониторинга не должна мешать обычной жизнедеятельности пчел.

Система должна иметь возможность интеграции с датчиками температуры, влажности и другими сенсорами, а также передавать данные на сервер для анализа. В рамках сенсорной подсистемы целесообразно учитывать запись и анализ звука, который может служить источником информации о проблемах в улье [3]. Важно также учитывать, что пчелы могут находиться в различных местах, поэтому мониторинг должен охватывать всю пасеку. Это делает актуальными исследования по применению технологий интернета вещей в пчеловодстве.

При разработке системы необходимо реализовать функции контроля температуры, влажности и концентрации углекислого газа в улье, его массы и положения, а также освещенности и температуры вне улья. Дополнительный интерес представляет возможность подсчета пчел, покидающих улей и возвращающихся в него, а также запись звука жизнедеятельности пчел. При этом система должна функционировать с минимальным энергопотреблением и максимально эффективно использовать беспроводные интерфейсы связи.

При разработке системы анализа звука следует учитывать следующие особенности. Общение пчел происходит с помощью вибраций, производимых телом [4]. Издаваемый звук зарегистрирован в диапазоне от 0 до нескольких тысяч герц [5]. Во время наличия инфекций в улье, а также в ситуациях предупреждения издаются звуки с частотой от 300 до 3600 Гц [6]. Частоты 225–285 Гц и амплитудой 3 дБ характерны в течение первых пяти часов после удаления пчелиной матки. Частоты звука королевы: от 400 до 550 Гц и выше. При роении частоты достигают 250 – 500 Гц с увеличением амплитуды сигнала [7]. Одним из ключевых частот для прогнозирования состояния пчел считается частота 20 Гц. При анализе звука следует использовать выборки большего размера, чтобы повысить обобщаемость результатов и предотвратить искажения данных из-за выбросов.

Методы машинного обучения, используемые в качестве входных данных аудиозаписи, автоматически распознают состояние внутри улья. Метод опорных векторов (SVM) и свёрточные нейронные сети (CNN), которые доминируют над традиционными методами машинного обучения, показали способность к эффективному распознаванию состояния улья. Классификация признаков может происходить с обучением учителя, то есть алгоритм использует данные, которые хорошо размечены и могут быть разделены, и без учителя, когда обнаруживаются скрытые закономерности в данных [7]. К первой категории относятся такие методы, как SVM, CNN, линейная регрессия (LR), алгоритм многослойного перцептрона (MLP), ко второй – самоорганизующиеся карты Кохонена (SOM). Перед классификацией данных применяются способы извлечения признаков, такие как MFCC, мел-спектрограммы, алгоритм преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ), быстрое преобразование Фурье (БПФ), дискретное Вейвлет – преобразование (DWT), линейное прогнозирующее кодирование (LPC), спектральная плотность мощности (PSD), стохастическое вложение соседей с t-распределением (t-SNE). Наиболее оптимальным является использование MFCC или комбинация других методов с ним [8].

На рис. 1 показаны известные на сегодняшний день методы классификации и кластеризации, выбора и извлечения признаков, а также степень их совместного применения.

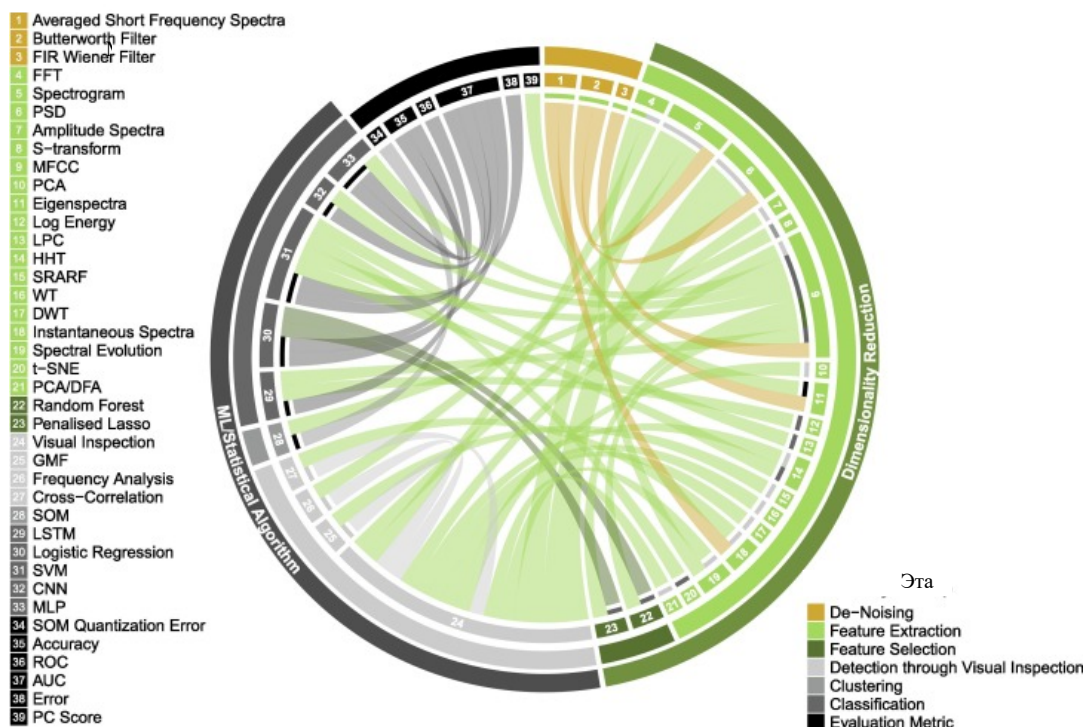


Рис. 1. Способы анализа звука для выявления закономерностей

При работе с аудиоданными возможны три варианта обучения моделей:

а) подход случайного разделения используется для произвольного разбиения наборов на тренировочные и тестовые;

б) подход, независимый от улья, более эффективен, так как одни данные используются только для тестирования, а другие – для обучения. В данном методе улья, звуки которых тестируются на обученных моделях, называют «невидимыми»;

в) подход, зависящий от улья, имеет узкую направленность. В данном случае обучение и тестирование происходит на одних и тех же аудиоданных.

Исходя из подробного анализа работ по распознаванию звука в ульях было выявлено, что при извлечении признаков из набора данных достаточно универсальным методом является использование MFCC, дающий особенно хорошие результаты при сочетании со сверточными нейронными сетями и преобразованием Гильберта-Хуанга. Для случайного разделения эффективны такие методы, как оконное преобразование Фурье (STFT), непрерывное вейвлет-преобразование (CWT), ННТ, MFCC, для подхода, независимого от улья – мел-спектрограммы, CWT и MFCC. В последнее время популярность набирают использование скрытых марковских моделей (HMM) и спектрограммы с хроматическими признаками (Chroma).

Среди методов классификации данных выделяют SVM, CNN, К-ближайшие соседи (KNN), дерево решений (DT) и случайные леса (RF). Каждый из них эффективен в разных задачах. Например, для подхода, зависящего от улья, CNN дает высокие результаты с учетом объема данных и подходит для решения проблемы идентификации звука улья в долгосрочной перспективе [22].

Выбор методов для обработки и анализа звуков пчел зависит от конкретных условий и целей.

Библиографический список

1. Potts S.G. et al. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers // *Trends in Ecology & Evolution*. 2010. Vol. 25, № 6. P. 345–353.
2. Differential expression of acetylcholinesterase 1 in response to various stress factors in honey bee workers | *Scientific Reports* [Electronic resource]. URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-46842-0> (accessed: 30.05.2024).
3. Tashakkori R., Hamza A.S., Crawford M.B. Beemon: An IoT-based beehive monitoring system // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021. Vol. 190. P. 106427.
4. Michelsen A., Kirchner W.H., Lindauer M. Sound and vibrational signals in the dance language of the honeybee, *Apis mellifera* // *Behav Ecol Sociobiol*. 1986. Vol. 18, № 3. P. 207–212.
5. Hadjur H., Ammar D., Lefèvre L. Toward an intelligent and efficient beehive: A survey of precision beekeeping systems and services // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2022. Vol. 192. P. 106604.
6. Fombong A.T. et al. Occurrence, diversity and pattern of damage of *Oplostomus* species (Coleoptera: Scarabaeidae), honey bee pests in Kenya // *Apidologie*. 2013. Vol. 44, № 1. P. 11–20.

7. Uthoff C., Homsí M.N., von Bergen M. Acoustic and vibration monitoring of honeybee colonies for beekeeping-relevant aspects of presence of queen bee and swarming // Computers and Electronics in Agriculture. 2023. Vol. 205. P. 107589.

© Хайретдинова А.Д., 2024

УДК 654.16

О. М. ХАКИМОВ

Oleg678_08@mail.ru

Науч. руковод. – д-р. техн. наук, проф. **А.Х. СУЛТАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОГНИТИВНОГО РАДИО В СЕТЯХ БЕСПРОВОДНОЙ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Аннотация: технология когнитивного радио (КР) позволяет динамически использовать радиочастотный спектр, что актуально для сетей 5G, сталкивающихся с дефицитом частотных ресурсов. Внедрение алгоритмов машинного обучения и нейронных сетей улучшает производительность сетей, снижает задержки и оптимизирует использование спектра.

Ключевые слова: когнитивное радио, 5G, радиочастотный спектр, спектральное сенсирование, машинное обучение, нейронные сети, интерференция, качество обслуживания, оптимизация спектра, беспроводные сети.

Сети пятого поколения (5G) создают новые перспективы для развития цифровой экономики, Интернета вещей (IoT) и приложений, требующих высокой скорости передачи данных, минимальной задержки и стабильного соединения. Одной из ключевых проблем, с которой сталкиваются телекоммуникационные компании при развертывании 5G, является нехватка радиочастотного спектра. Постоянное увеличение числа устройств, использующих большие объемы данных, делает критически важным оптимальное распределение ограниченных частотных ресурсов. Однако традиционные подходы, такие как фиксированное лицензирование, не могут удовлетворить растущие потребности сетей, что подчеркивает необходимость внедрения инновационных технологий. Одной из таких технологий является когнитивное радио (КР), обеспечивающее более эффективное использование спектра за счет его динамического перераспределения в зависимости от доступности и загрузки частот [1, 2].

Когнитивное радио представляет собой технологию, которая позволяет беспроводным устройствам анализировать радиочастотную среду и в режиме реального времени адаптироваться к ее изменениям, автоматически выбирая

свободные частоты для передачи данных. Эта технология включает три основных компонента: спектральное сенсирование, принятие решений и повторная настройка. Спектральное сенсирование помогает устройствам определять, какие частоты свободны, чтобы избежать помех для лицензированных пользователей. Интеллектуальные алгоритмы обеспечивают принятие решений о том, когда и на каких частотах можно передавать данные. Функция повторной настройки позволяет устройствам оперативно переключаться на другие частоты в зависимости от изменений в радиочастотной среде [2, 3].

Использование когнитивного радио в сетях 5G особенно актуально в условиях высокой плотности застройки, где нагрузка на радиочастотный спектр достигает пиковых значений. В таких ситуациях КР помогает эффективно распределять ресурсы и минимизировать помехи, что критически важно для поддержания качества обслуживания (QoS). Например, в случаях массового потребления данных (видеостриминг, онлайн-игры, видеозвонки) когнитивное радио может оперативно находить и использовать доступные частоты, обеспечивая высокую скорость соединения и низкие задержки [4].

Ключевая задача внедрения когнитивного радио в сети 5G — создание эффективных алгоритмов спектрального сенсинга. На сегодняшний день для улучшения точности обнаружения свободных частот и возможности прогнозировать использование спектра в ближайшее время применяют машинное обучение и искусственные нейронные сети (ANN). Алгоритмы глубокого обучения, такие как сверточные (CNN) и рекуррентные нейронные сети, предоставляют возможность принимать более информированные решения на основе анализа большого количества данных о состоянии сети [6].

Моделирование работы когнитивного радио в Matlab показало, что применение алгоритмов машинного обучения для спектрального сенсинга значительно увеличивает производительность сети. Эксперименты также показали, что использование когнитивного радио увеличивает пропускную способность сети на 30% по сравнению с традиционными методами распределения спектра. Это достигается за счет более рационального использования незанятых частот и уменьшения уровня помех. Когнитивное радио, помимо этого, снижает задержки передачи данных на 15%, что особенно важно для приложений, требующих быстрого отклика (таких как дистанционная хирургия, управление беспилотными транспортными средствами и системы промышленного Интернета вещей (IIoT) [6, 7]).

КР также открывает новые возможности для оптимизации использования лицензионного и нелицензионного спектра. Значительная часть радиочастот в настоящее время зарезервирована для лицензированных пользователей, таких как операторы связи и теле вещатели, но зачастую они используются неэффективно. Когнитивное радио позволяет сетям 5G динамически задействовать свободные частоты в лицензионном спектре, не нарушая работы основных пользователей, что расширяет доступные ресурсы для передачи данных и повышает общую эффективность сети [3, 4].

В условиях плотной городской застройки и промышленных зон когнитивное радио может стать ключевым элементом инфраструктуры 5G. Оно не только улучшает связь для конечных пользователей, но и помогает операторам связи эффективнее управлять частотными ресурсами. Например, когнитивное радио может оптимизировать передачу данных в интеллектуальных транспортных системах, где миллионы подключенных автомобилей требуют бесперебойного обмена данными с минимальными задержками. В таких условиях КР автоматически находит свободные частоты, обеспечивая стабильное соединение и высокую скорость передачи даже при высокой загрузке сетей [7].

Библиографический список

1. Haykin, S. (2005). Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 23(2), 201–220.
2. Mitola, J., & Maguire, G. Q. (1999). Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal. *IEEE Personal Communications*, 6(4), 13–18.
3. Akyildiz, I. F., Lee, W. Y., Vuran, M. C., & Mohanty, S. (2006). Next Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey. *Computer Networks*, 50(13), 2127–2159.
4. Liang, Y. C., Chen, K. C., Li, G. Y., & Mahonen, P. (2011). Cognitive Radio Networking and Communications: An Overview. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(7), 3386–3407.
5. Zhang, Y., & Mao, S. (2017). Cognitive Machine Learning for Wireless Networks with Unlicensed Spectrum Sharing. *IEEE Wireless Communications*, 24(4), 94–101.
6. Matlab Documentation. (n.d.). Cognitive Radio System Design. Retrieved from <https://www.mathworks.com>.
7. Cisco. (2023). 5G and Cognitive Radio: Optimizing Spectrum Use. White Paper.

© ХАКИМОВ О.М., 2024

УДК 004.896

А.И. ХАМЕТОВА

panina.anechka@bk.ru

Науч. руковод. – д-р. экон. наук, проф. Р.Х. БАХИТОВА

Уфимский университет науки и технологий

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В УПРАВЛЕНИИ ЦЕПОЧКАМИ ПОСТАВОК: ИНТЕГРАЦИЯ МАРКЕТИНГОВЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СТРАТЕГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация: статья посвящена изучению роли цифровых технологий в улучшении прозрачности процессов в цепях поставок. В ходе исследования проведен анализ влияния цифровизации на различные аспекты логистики, а также выявлены основные трудности, с которыми сталкиваются компании при внедрении цифровых решений. С помощью контент-анализа и опросов представителей бизнеса были определены ключевые проблемы и вызовы, стоящие на пути цифровизации в логистической отрасли. Изучение современных цифровых инструментов, используемых в грузоперевозках, дало возможность автору разработать рекомендации для их эффективного применения с целью улучшения прозрачности и оптимизации процессов. Работа основана на реальных кейсах из практики существующих компаний и обширном опыте автора в сфере логистики.

Ключевые слова: цифровая трансформация, цепи поставок, Blockchain, ESG, бизнес-процесс.

На сегодняшний день состояние цифровой трансформации различных процессов и операций в бизнес-единицах, предприятиях и цепочках поставок в промышленности, торговле и сфере услуг можно охарактеризовать как «цифровой хаос». Это часто связано с тем, что компании приступают к цифровым преобразованиям своих бизнес-процессов разрозненно. Даже при наличии потенциала для оптимизации цепочки поставок, недостаточные знания и навыки сотрудников, а также сложности в технической и программной реализации заставляют организации воздерживаться от полного использования цифровых инструментов. В частности, методология, основанная на SCOR-модели, которая уже доказала свою эффективность на международной арене, применяется довольно редко.

Цифровая трансформация представляет собой процесс разработки инновационных бизнес- и операционных моделей, основанных на внедрении и интеграции современных цифровых технологий. Этот всеобъемлющий процесс цифровизации охватил практически все сектора экономики в нашей стране. Для успешной реализации он требует детального анализа с точки зрения совершенствования методологической базы и создания надежной программной платформы, которая обеспечит системный подход к решению задач цифровых преобразований. Рассмотрим ключевые задачи цифровизации цепи поставок, представленные на рисунке 1 [4].



Рис. 1. Ключевые задачи процесса цифровой трансформации цепей поставок

Для достижения указанных целей важно определить ключевую задачу процесса цифровизации. По нашему мнению, она заключается в комплексном анализе существующих логистических и экономических процессов. Это позволит выявить узкие места и задержки, а также определить те области, где интеграция цифровых технологий может оказаться наиболее полезной. С этой целью каждому хозяйствующему субъекту необходимо поставить ряд вопросов, требующих решения (рис. 2) [1].

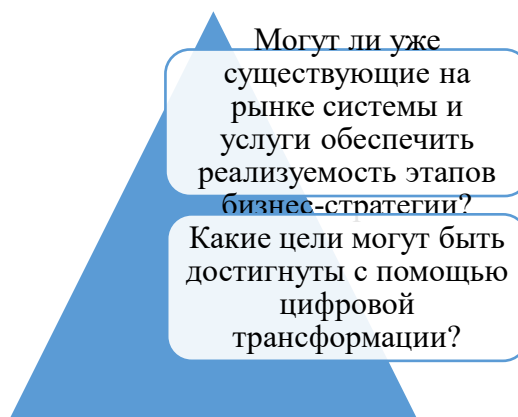


Рис. 2. Постановка целей для трансформации цепей поставок в деятельности хозяйствующих субъектов

Эти цели могут включать повышение эффективности, снижение затрат, улучшение точности прогнозов и ускорение времени отклика на изменения в рынке. После постановки целей необходимо придерживаться четкого регламента для построения данной системы, отраженной в таблице 1.

Таблица 1

Процесс создания цифровой трансформации цепей поставок на предприятии

Процесс	Характеристика
Выбрать технологические решения	Подбор технологий, использование систем искусственного интеллекта для прогнозирования спроса, блокчейна для обеспечения прозрачности в цепи поставок и IoT-устройств для мониторинга и отслеживания грузов
Ориентация на персонал	Чтобы новые технологии успешно вписались в текущие бизнес-процессы, необходимо организовать обучение сотрудников, что позволит им эффективно пользоваться новыми цифровыми инструментами
Безопасность данных	Данные, которые наследуются в новый цифровой инструмент, должны быть унифицированными и структурированными
Внедрение регламента	После внедрения цифрового решения следует создать регламент, который обеспечит унифицированную и прозрачную систему мониторинга и анализа для постоянного наблюдения за эффективностью цифровой трансформации. Регулярно необходимо вносить изменения и оптимизировать процессы, опираясь на собранные данные

На основании вышеописанных процессов можно выделить, что успешная цифровая трансформация цепей поставок требует комплексного и продуманного подхода. Необходимо гибко планировать, учитывая динамичные изменения в экономике и технологические новшества. Эффективное внедрение цифровых решений способно значительно повысить конкурентные преимущества компании и поможет ей лучше адаптироваться к стремительно изменяющимся условиям на рынке.

Колебания рынка, вызванные внешними факторами, всегда создавали

сложности в координации логистики. Опыт показывает, что восстановление цепей поставок часто происходит с задержкой, что влечет за собой увеличение затрат для компаний. Кроме того, для крупных организаций критически важно наладить межорганизационное взаимодействие с партнерами по цепи, чтобы улучшить управление рисками. Современные информационные технологии и системы, используемые в управлении цепями поставок, предлагают широкий спектр возможностей. Рассмотрим наиболее важные из них (табл. 2) [2].

Таблица 2

Современные информационные технологии, применяемые в управлении цепями поставок

Наименование	Характеристика
RFID-технология	Технология восходит к системе IFF (Identification Friend or Foe), которая используется для различения своих и чужих, и уже долгое время находит применение в логистике для отслеживания товаров в цепочках поставок. RFID активно используется для мониторинга и хранения продукции в малом и среднем бизнесе
Технология Control Tower	Логистический центр, оборудованный средствами, которые позволяют проводить анализ данных в режиме реального времени, что способствует принятию управленческих решений на операционном, тактическом и стратегическом уровнях, а также улучшает прозрачность операций на всех этапах цепи поставок
Технология Blockchain	Децентрализованная база данных, поддерживаемая и обновляемая сетью компьютеров, участвующих в работе. Участники сети добавляют записи, которые связаны с определенным временем и предыдущими данными, и эти записи нельзя изменить
Интернет-вещей IoT (Internet of Things, IoT)	Эта система включает в себя использование дронов, сенсоров и центра управления, что позволяет осуществлять удалённый мониторинг и управление процессами транспортировки грузов
Искусственный интеллект (ИИ, Artificial intelligence)	Технология, способная воспроизводить интеллектуальную деятельность человека с использованием методов машинного обучения, позволяет анализировать и интерпретировать сложные данные, создавая впечатление понимания
«Цифровой двойник»	В логистике используется математическая модель, которая точно отражает методы управления цепями поставок. Фармацевтическая компания GlaxoSmithKline внедрила цифровые двойники, чтобы создать эффективный процесс производства вакцин и оптимизировать упаковку продукции с контролем температуры, улучшив процедуры тестирования

В эпоху цифровой эволюции управление цепочками поставок превращается в область, где готовность к изменениям приобретает решающее значение для достижения успеха. Стремительное развитие таких технологий,

как генеративный искусственный интеллект, анализ данных, автоматизация процессов, машинное обучение, интернет вещей и блокчейн, способствует тому, что концепция интеллектуальной цепочки поставок становится стандартом в индустрии [3].

Прежде всего, компаниям необходимо научиться уделять особое внимание сбору актуальных, чистых и управляемых данных, чтобы максимально эффективно использовать инвестиции в новейшие технологии. Данные будут играть ключевую роль, так как на организации будет оказываться давление с требованием соблюдать экологические, социальные и управленческие стандарты, а также обязательства третьего уровня.

Далее мы рассмотрим структурные тенденции, которые определяют новые модели работы и улучшат процессы. Современным компаниям важно осознавать эти тенденции и предпринимать конкретные шаги для начала трансформации как можно быстрее. Это позволит им создавать более гибкие цепочки поставок, которые помогут сократить затраты и увеличить выгоды для акционеров (табл. 3) [5].

Таблица 3

Приоритетные направления цифровой трансформации цепи поставок на 2025 год

Наименование тенденции	Ключевые действия на 2025 год
Генеративный искусственный интеллект в операциях	Анализ существующей команды специалистов по аналитике в области цепочек поставок и подготовка к модернизации с внедрением искусственного интеллекта. Командам, использующим генеративные технологии ИИ, необходимо обладать навыками, которые идут дальше банальной передачи данных, охватывая более широкие сферы
Планирование без вмешательства	Совмещение экспертных знаний с анализом данных становится ключевым аспектом современной бизнес-стратегии. Эффективная интеграция данных в уже работающие процессы позволяет не только оптимизировать операции, но и открывает новые возможности для инноваций. В условиях быстро меняющегося рынка управление данными приобретает решающее значение для достижения успеха. Компании, которые смогут грамотно обрабатывать и использовать информацию, получат значительное конкурентное преимущество
Ключевая роль данных	Создание уникальной и расширенной дорожной карты, направленной на формирование ценности, требует комплексного подхода, который охватывает различные аспекты деятельности компании. Прежде всего, важно определить четкую цель, которая станет основой для всех последующих действий. Эта цель должна включать в себя ключевые направления, такие как оптимизация расходов, повышение операционной эффективности, улучшение уровня

	удовлетворенности клиентов и внедрение инновационных решений
Прозрачность и видимость цепочки поставок	Внедрение принципов экологической, социальной и корпоративной ответственности (ESG) в современные технологии открывает новые горизонты для совершенствования процессов принятия решений в сфере закупок и управления эффективностью. Этот подход позволяет не только оптимизировать внутренние процессы компании, но и значительно повысить степень ответственности и устойчивости цепочек поставок. Включение показателей, связанных с ESG, в систему оценки и мониторинга поставщиков становится ключевым элементом для создания более прозрачной и надежной сети партнерских отношений
Платформы с низким кодом	Предоставление возможности бизнес-экспертам и заинтересованным сторонам разрабатывать приложения для аналитики, решения специфических задач и налаживания взаимодействия внутри цепочки поставок
Экологические, социальные и управленческие аспекты (ESG) и выбросы третьего порядка	Обеспечение сотрудников знаниями и навыками в области понимания выбросов третьего уровня, методов уменьшения углеродного следа и инструментов для мониторинга и управления данными об углеродных выбросах является важной задачей. Это включает в себя обучение эффективным стратегиям снижения выбросов и освоение современных технологических решений, которые помогают в сборе и анализе информации о выбросах
Электромобили, транспорт и логистика	Проведение анализа для оценки состава автопарка, маршрутизации и моделей эксплуатации с целью определения потенциала электрификации, с акцентом на транспортные средства, активно эксплуатируемые в городских зонах

Темп времени сегодня приобретает решающее значение, и те, кто способен стремительно адаптироваться, извлекут наибольшую выгоду, снизят издержки и успешно освоят новые стратегии достижения успеха. В результате количество передовых технологических средств для мониторинга и оптимизации цепочек поставок постоянно увеличивается. Это, с одной стороны, предоставляет компаниям шанс усовершенствовать свои бизнес-процессы через цифровую трансформацию, но, с другой стороны, может привести их в состояние «цифрового хаоса». Чтобы цифровая трансформация не превратилась в мозаичное скопление несвязанных систем, необходимо обеспечить интеграцию всех составляющих в единую стратегию цифровизации.

Библиографический список

1. Борисевич Я.Р., Пильковский Д.О., Прокопеня Е.С. Основные направления цифровой трансформации в логистике и управлении цепями поставок // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2022. – № 1(31). – С. 10-12.

2. Сергеев И.В. Современные цифровые технологии для повышения прозрачности логистических бизнес-процессов в цепях поставок // Транспорт и логистика устойчивого развития территорий, бизнеса, государства (драйверы роста, тренды и барьеры): Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 30 марта 2023 года. – Москва: Государственный университет управления. Москва, 2023. – С. 351-354.

3. Сироткин А.А. Аспекты исследования и оценки информационной прозрачности в цепях поставок // Научные проблемы водного транспорта. – 2022. – № 70. – С. 147-157.

4. Шут А.А. Тренды цифровой трансформации цепочек поставок на примере рынка нефтепродуктов // Вестник Алтайской академии экономики и права. – 2024. – № 4-3. – С. 520-529.

5. Юсуфова О.М., Шиболденков В.А., Андреева А.А. Анализ технологий цифровой логистики для автоматизации и сервисной интеграции складских процессов организации // Вопросы инновационной экономики. – 2020. – № 3. – С. 1759-1772.

© Хаметова А.И., 2024

УДК 654.16

А.Р. ШАЙГАРДАНОВА

shaygardanovaar@uust.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, **Г.С. ВОРОНКОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ОЦЕНКИ ПЕШЕХОДНОГО ТРАФИКА ДЛЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ГОРОДА

Аннотация: повышение спроса на рынке услуг анализа пешеходного трафика приводит к удорожанию развертываемой инфраструктуры и повышению нагрузки на системы связи для передачи видеотрафика. Для решения данной проблемы планируется разработка программно-аппаратного комплекса компьютерного зрения, основанного на машинном обучении, предназначенного для оценки пешеходного трафика в контролируемых зонах.

Ключевые слова: компьютерное зрение, end-computing, анализ данных, пешеходный трафик

Компьютерное зрение становится важным элементом современных технологий, трансформируя целые отрасли: от здравоохранения, где оно помогает в диагностике заболеваний, до автомобильной промышленности с её системами автономного вождения и сферы безопасности. Эта технология стала незаменимым инструментом для обработки и анализа больших объемов визуальных данных.

Среди множества направлений компьютерного зрения анализ пешеходного трафика выделяется своей практической значимостью для развития современных городов. Точный подсчет и прогнозирование количества пешеходов в режиме реального времени позволяют решать широкий спектр практических задач: от оптимизации городской инфраструктуры до создания комплексных систем безопасности.

Экспоненциальный рост IoT-устройств и генерируемых ими данных приводит к развитию периферийных вычислений. Суть технологии end-computing заключается в переносе вычислительных мощностей ближе к источникам данных – на периферию сети. Такой подход обеспечивает ряд существенных преимуществ:

- Обработка данных в режиме реального времени;
- Минимизация задержек при передаче информации;
- Повышение надежности и безопасности обработки данных;
- Оптимизация использования сетевых ресурсов.

Кроме того, пропускная способность систем IoT обычно ограничена, поскольку ожидается, что устройства будут выполнять скалярные измерения контролируемой среды или принимать небольшие пакеты команд. Теперь же, объем данных, генерируемых в режиме ограничения, может варьироваться от нескольких Кбит/с до нескольких Мбит/с, поэтому соответствующие системы адаптированы к доступной полосе пропускания.

Использование концепции end-computing позволит снизить габариты конечного устройства, повысить энергоэффективность конечных элементов. Локальная обработка видеопотока обеспечит работоспособность проектируемого устройства с использованием низкоскоростных беспроводных интерфейсов связи (в частности NB-IoT — Narrow Band Internet of Things) без необходимости развертывания высокоскоростной проводной или беспроводной инфраструктуры.

Для реализации программно-аппаратного комплекса выбор был сделан в сторону микроконтроллера ESP32-CAM, в качестве устройства приема и анализа данных, за его многофункциональность и возможность видеонаблюдения.

Первая функция при запуске программы позволяет обнаруживать объекты на изображении с использованием переданной модели машинного обучения. После чего предсказывается количество людей на фотографии, вокруг которых обрисовываются красные рамки. Следующим шагом является обучить модель считать, интересующие объекты в пределах обозначенной области. Для этого мы размечаем границы проверочных зон.

Далее происходит итерация по обнаруженным объектам, где, во-первых, проверяется класс объекта (должен быть равен 1), во-вторых, оценка обнаружения должна превышать заданный порог (0.25). Вычисляются координаты рамки для каждого объекта вычисляются координаты рамки и создается многоугольник, представляющий объект. Затем происходит проверка

пересечения многоугольника объекта с каждой зоной, и, если пересечение не пусто, увеличивается счетчик count.

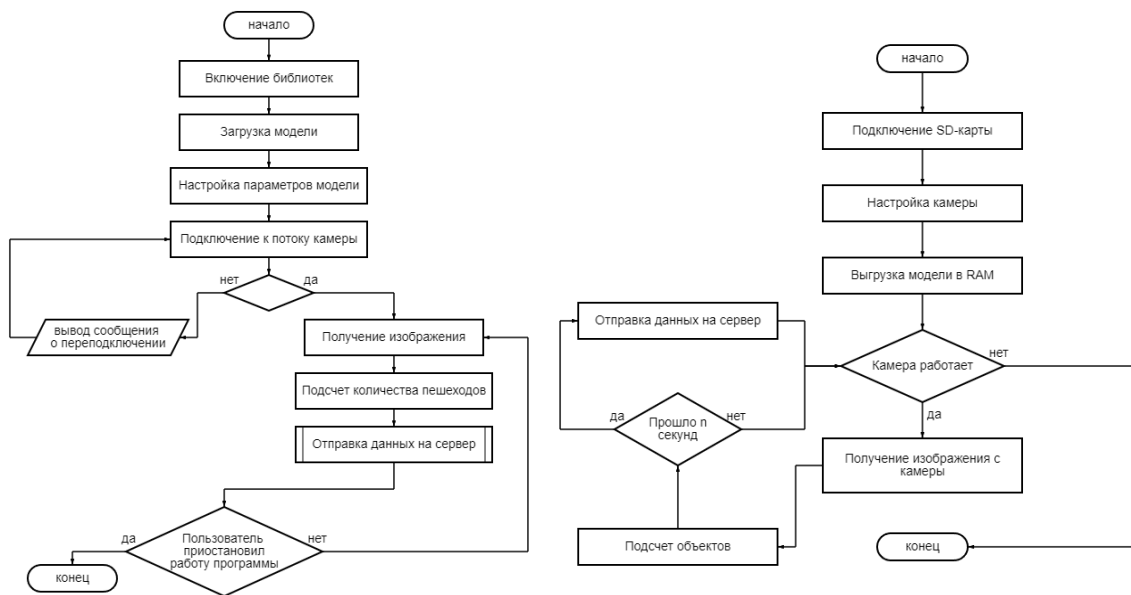


Рис. 1. Блок-схемы программы системы компьютерного зрения

После загрузки модели подсчета пешеходов на плату, был написан цикл, который будет повторяться бесконечно, пока не выключится камера. Каждую секунду камера делает снимок и происходит проверка на отправку данных на сервер.



Рис. 2. Результат работы программы

Для передачи информации с микроконтроллера на сервер будет использован радиомодуль NB-IoT. Подключение к нему ESP32-CAM происходит через UART порты.

Собранные разработанным устройством данные могут быть использованы для оценки динамики пешеходных потоков и прогнозирования пешеходного трафика в цифровом двойнике города. Отличием от существующих систем видеонаблюдения будет являться компактность и энергоэффективность конечных элементов и локальная обработка данных (end-computing).

Библиографический список

1. Nauman A. et al. Multimedia Internet of Things: A Comprehensive Survey // IEEE Access. 2020. Vol. 8. P. 8202–8250.
2. NB-IoT: как он работает? [Electronic resource]: Электронный ресурс // HABR. 2024. URL: https://habr.com/ru/companies/ru_mts/articles/430496/ (Дата доступа: 14.05.2024).
3. Victor S. Lempitsky, Andrew Zisserman. Learning To Count Objects in Images. 2010.
4. Рейнхард Клетте. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы. Москва, 2019. 506 p.
5. Chan A.B., Zhang-Sheng John Liang, Vasconcelos N. Privacy preserving crowd monitoring: Counting people without people models or tracking // 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Anchorage, AK, USA: IEEE, 2008. P. 1–7.
6. Dharani A., Kumar S.A., Patil P.N. Object Detection at Edge Using TinyML Models // SN COMPUT. SCI. 2023. Vol. 5, № 1. P. 11.

© Шайгарданова А.Р., 2024

СЕКЦИЯ 3.4. УПРАВЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 331.452

И.П. ВАВИЛОВ

vano3slv@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Н.Л. БАБИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА НАДЁЖНОСТЬ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация: статья посвящена исследованию человеческого фактора, возникающего у оперативно-ремонтного персонала при производстве оперативных переключений по восстановлению нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений, а также разработке мероприятий для административно-технического персонала по устранению человеческого фактора.

Ключевые слова: человеческий фактор, охрана труда, электробезопасность, повышение безопасности, безопасность на производстве, оперативные переключения, управление персоналом.

Введение

Актуальность работы определяется необходимостью исследования и оценки человеческого фактора, возникающего у оперативно-ремонтного персонала. Решение этого вопроса позволит исключить риски возникновения человеческого фактора при производстве оперативных переключений, что снизит травматизм и исключит порчу электрооборудования.

Целью данного исследования является разработка мероприятий для административно-технического персонала по устранению человеческого фактора, а именно, стрессового состояния работников, которое приводит к ошибочным действиям, при производстве оперативных переключений.

В работе поставлены следующие задачи:

- провести анализ и выявить причины возникновения человеческого фактора;
- разработать рекомендации для административно-технического персонала, сокращающие риски возникновения человеческого фактора у персонала, выполняющего оперативные переключения.

Решение задач поможет последовательно и детально исследовать человеческий фактор и прийти к обоснованным рекомендациям.

Объектом исследования является электротехнический персонал, производящий оперативные переключения. Предметом исследования является

человеческий фактор, возникающий у оперативно-ремонтного персонала во время производства оперативных переключений во время восстановления нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений.

Работа проводилась на основе наблюдения и анализа. Применение данных методов позволит произвести наблюдение за психологическим и физическим состоянием оперативно-ремонтного персонала, во время производства переключений во время восстановления нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений, а также произвести анализ их действий в этот момент и разработать мероприятия, сокращающие риски возникновения человеческого фактора. Для этого следует учитывать все нижеуказанные пункты:

- умение оценивать сложившуюся обстановку (оперативно-ремонтный персонал обязан понимать, что отключилось, где пропало напряжение, что ему делать и на какую подстанцию ему выдвигаться);

- умение работника не отвлекаться на внешние факторы (не вести параллельно с переключениями посторонних разговоров);

- понимания работником каждого шага и ясное представление последовательности и целей при переключениях для восстановления нормальной эксплуатационной схемы;

- способности грамотно, чётко и ясно вести оперативные переговоры (выражаться техническим языком, не допускать сокращений диспетчерских наименований);

- способности принимать решения в нестандартных ситуациях.

В рамках исследования были выполнены этапы:

1. **Сбор данных:** на первом этапе было произведено наблюдение и анализ психологического и физического состояния оперативно-ремонтного персонала при производстве оперативных переключений во время восстановления нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений.

2. **Экспериментальные исследования:** в рамках экспериментов были проведены внеочередные противоаварийные тренировки с оперативно-ремонтным персоналом по локализации аварийных режимов работы и их последствий, а также проведено наблюдение за действиями работников и их психологическим и физическим состоянием при восстановлении нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений.

Каждый этап исследования был направлен на получение точных данных, которые в дальнейшем использовались для анализа и выработки рекомендаций по исключению человеческого фактора.

В ходе анализа данных были выявлены следующие основные результаты:

Эффективность текущих решений: по результатам наблюдений и оценке психологического и физического состояния оперативно-ремонтного персонала выяснилось, что причиной совершения ошибочных действий, в процессе восстановления нормальной эксплуатационной схемы после аварийных отключений, могут стать стрессовые состояния оперативно-

ремонтного персонала, вследствие изменения их психологического и (или) физического состояния. Чаще всего человеческий фактор возникает по следующим причинам:

- нарушение последовательности операций при единоличных переключениях;
- ошибочные действия, происходящие при неудовлетворительном психологическом и (или) физическом состоянии, возникающие при аварийных отключениях;
- стрессовое состояние работника, впервые осуществляющего оперативные переключения.

В ходе исследования получены следующие выводы:

Во-первых, при плохом самочувствии работник становится невнимательным, излишне взволнованным, появляются высокие риски ошибочных действий, особенно во время аварийных отключений.

Во-вторых, при отсутствии опыта у работника и незнании им оперативных блокировок проявляется тревога и сомнения в своих действиях.

В-третьих, при спешке, проявляется суета и невнимательность, что может привести к ошибочным действиям оперативно-ремонтного персонала.

Кроме того, определены действия, снижающие риски возникновения человеческого фактора. Для этого необходимо систематизировать и принять в работу административно-техническому персоналу следующие рекомендации:

- усилить контроль путём наблюдения к работникам, на предмет выявления неудовлетворительного психологического и (или) физического состояния, а также разработать, принять в работу, вести и анализировать Электронный «Журнал ежедневного контроля здоровья работников»;

- привлекать работников, в категорию оперативно-ремонтного персонала, производящих оперативные переключения, только эмоционально устойчивых работников, а также успешно прошедших противоаварийные тренировки (особенно по локализации аварийных режимов работы оборудования и их последствий);

- плановые переключения производить заблаговременно до перерыва на обед и окончания смены;

- проводить еженедельную подготовку по индивидуальным планам занятий с вновь принятыми и опытными работниками, которые производят переключения в электроустановках.

Достоверность и обоснованность полученных в работе результатов подтверждается отсутствием ошибочных действий оперативно-ремонтным персоналом при производстве переключений в сетевом районе №1 ЦСОЭ и ТО ЯР ЗС РУ ООО «ЛУКОЙЛ-ЭНЕРГОСЕТИ» на Находкинском газовом промысле.

Кроме того, отдельные результаты работы использованы при разработке дополнительной профессиональной программы повышения квалификации «Методы и средства подготовки, поддержания и повышения квалификации оперативного персонала», объёмом 36 часов, реализуемой в УУНиТ.

Несмотря на достижения, полученные в рамках данного исследования, существует направление, которое требует дальнейшего изучения – это исследование и оценка влияния человеческого фактора, возникающего у контролирующих оперативные переключения и выдающего разрешение на производство оперативных переключений.

Библиографический список

1. Приказ Министерства энергетики РФ от 13 сентября 2018 года № 757 «Об утверждении Правил переключений в электроустановках» (с изменениями на 1 сентября 2023 года), Москва, 2018. С. 1-89

2. Грабчак Е.П. // Обзор Минэнерго России № ЕГ-13915/5 от 26.08.2024 «О направлении обзора производственного травматизма» в организациях электроэнергетики.

3. Томаков М.В., Томаков В.И., Пахомова Е.Г., Андриенко В.В., Брежнев А.В. // Анализ причин несчастных случаев на энергетических объектах России, подконтрольных органам Ростехнадзора // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2018. Т. 8, № 4 (29). С. 64-71.

4. Магид С.И., Загреддинов И.Ш., Музыка Л.П., Архипова Е.Н. // Человеческий потенциал и концепция обеспечения надежности в электроэнергетике. // Сборник статей под редакцией д.т.н., профессора Магида С.И. «Человеческий потенциал в электроэнергетике - обеспечение качества и надежности», Москва-Краснодар, 2005. С. 6–12.

5. Пуликовский К.Б. // Приоритет качеству подготовки, профессиональному обучению и аттестации работников организаций, поднадзорных Ростехнадзору // «Безопасность труда в промышленности», №7, 2006 г., с. 2-8.

© Вавилов И.П., 2024

УДК 621.311.243

Ф.Х. ВИЛЬДАНОВ

vildanovfadis58@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Н.Л. БАБИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА МОТИВАЦИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Аннотация: в статье анализируется интеграция прозрачных солнечных панелей в архитектурный дизайн сооружений как значительного шага в развитии возобновляемой энергетики и увеличения энергоэффективности. В обстановках стремительного роста населения городов и ограниченности свободных площадей вопрос применения альтернативных источников энергии становится критически важным.

Ключевые слова: солнечные панели, энергетика, инновации в энергетике.

Введение

Исследование потенциала и ограничений использования прозрачных солнечных панелей в возведении с точки зрения их энергопроизводительности и воздействия на архитектурные проблемы. Изучение основано на рассмотрении актуальных научных публикаций и исследовании опыта применения аналогичных решений в разных климатических условиях.

Актуальность данной работы определена необходимостью поиска новых путей уменьшения углеродного следа и повышения энергоэффективности инфраструктуры города. Прозрачные солнечные панели представляют собой перспективное решение, способное не только усовершенствовать внешний облик зданий, но и существенно уменьшить их энергозатраты. В свете глобальных трендов на постоянное развитие и переход к экологически чистой энергии, интеграция солнечных панелей в архитектуру зданий становится ключом к созданию более экологически устойчивых городских пространств будущего.

Интеграция солнечных панелей в окна

Прозрачные солнечные панели представляют собой важный шаг вперед в технологии использования возобновляемых источников энергии внутри зданий и сооружений. Они позволяют интегрировать солнечную энергетику в окна без потери естественного освещения. Это делает их особенно актуальными в условиях густонаселенных городов, где каждый квадратный метр пространства бесценен, а желание сохранения комфортных условий труда и жизни остается в приоритете. В обстоятельствах дефицита площадей для установки привычных нам солнечных систем такое решение демонстрирует себя как особо ценное. Прозрачные панели способствуют уменьшению затрат на электроэнергию, что, в свою очередь, становится значительным аспектом общей энергоэффективности здания.

На практике эффективность таких установок можно значительно повысить благодаря применению их в системах теплоснабжения. Вероятность интеграции тепла от низкотемпературных возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и геотермальные, в системы теплоснабжения и холодоснабжения может увеличить энергоэффективность зданий. Это создает дополнительные перспективы для организации сбалансированных энергетических систем, основывающиеся на применении местных возобновляемых ресурсов, уменьшая зависимость от традиционных источников энергии и уменьшая углеродный след.

Однако, несмотря на значительные преимущества, имеются и ограничения, такие как уровни прозрачности и эффективность преобразования солнечной энергии. Эти ограничения обусловлены тонкостью фотогальванических элементов, что напрямую влияет на количество поглощаемого солнечного света и преобразуемой энергии. При проектировании зданий с применением прозрачных солнечных панелей необходимо тщательно учитывать эти факторы, для достижения оптимального баланса между естественным освещением и энергопроизводительностью. Таким образом, углубленное исследование и должная установка могут сыграть ключевую роль в максимальной реализации возможности данной технологии, что в свою очередь требует стабильного развития и совершенствования таких систем.

Интеграция солнечных панелей в крыши

Типы солнечных панелей для крыш и их эффективность

Крыши зданий представляют собой идеальное пространство для монтажа солнечных панелей, позволяя использовать солнечную энергию с максимальной эффективностью. Современные технологии предлагают всевозможные типы солнечных панелей, такие как монокристаллические и поликристаллические, имеющие различные коэффициенты эффективности. Например монокристаллические панели известны своей высокой производительностью и долговечностью, тогда как поликристаллические панели привлекают более низкой стоимостью и широкой доступностью. Выбор подходящего типа панелей зависит от множества факторов, включая архитектурные решения и бюджет проекта.

Крыши с наклонными плоскостями представляют особый интерес, так как обеспечивают оптимальный угол для установки панелей, что важно для максимальной выработки энергии. Как отмечают О.Д. Колесникова и Т.Ю. Быстрова «эту образующую можно использовать в качестве плоскости скатной кровли здания, на которой могут располагаться солнечные панели» [2, с 3]. Вопреки этому подходу можно достигнуть существенного снижения энергозатрат и увеличить общий уровень энергоэффективности зданий. Кроме того, интеграция солнечных панелей в крышу позволяет последовательно сочетать технические и эстетические аспекты дизайна зданий.

Установка солнечных панелей в крыши зданий также играет важную роль в переходе к экологически устойчивым методам строительства. Такие энергосистемы способствуют существенному уменьшению углеродного следа за счет уменьшения зависимости от применения традиционных источников энергии. Это особенно актуально в условиях глобальной тенденции по снижению воздействия на окружающую среду. В итоге применение солнечных панелей на крышах позволяет не только снизить затраты на электроэнергию, но и способствует созданию более стабильной и энергоэффективной городской инфраструктуры.

Интеграция солнечных панелей в фасады

Архитектурные решения для фасадов с встроенными солнечными панелями

Использование солнечных панелей в фасадных конструкциях зданий представляет собой одно из наиболее актуальных архитектурных новшеств, способных продемонстрировать не только эстетические, но и практические преимущества. Например, фасады с солнечными панелями способны усовершенствовать внешний облик здания за счет их современного дизайна, что в свою очередь может повысить архитектурную привлекательность всего объекта. Таким образом фасадные поверхности приобретают функциональное значение, выступая источником собственной энергии, необходимой для поддержания большинства систем жизнедеятельности здания. Это ведет к существенной экономии энергетических ресурсов. В связи с этим, применение солнечных панелей в архитектуре не только улучшает вид и функциональные характеристики здания, но и способствует снижению энергозатрат и повышению общей энергоэффективности зданий.

Ключом к наибольшей эффективности использования фасадных солнечных панелей является ориентация здания. Для достижения максимальной производительности панелей необходимо, чтобы они были установлены на незатененных плоскостях фасада, ориентированных на солнечную сторону. Роль ориентации и наклона фасадов в таком случае становится особо значимой, так как они определяют уровень освещенности панелей и, как следствие, их производительность. В своей работе О.Д. Колесникова и Т.Ю. Быстрова установили, что «для интеграции солнечных панелей в архитектуру зданий важно наличие широкой незатененной плоскости, ориентированной на солнечную сторону под определенным углом к горизонту» [2, 5 с]. Продуманное проектирование архитектурных решений играет решающую роль в создании энергоэффективных зданий будущего.

Таким образом, интеграция солнечных панелей в архитектурный дизайн фасадов предоставляет уникальные потенциалы для оптимизации энергетических характеристик зданий. Она не только влияет на внешний облик, делая его более современным и привлекательным, но и значительно улучшает функциональные показатели. Такие решения становятся все более популярными среди проектировщиков и архитекторов, стремящихся создать устойчивые и энергоэффективные городские пространства. Следствие этого — снижение зависимости от традиционных источников энергии и продвижение к устойчивой будущей архитектуре, ориентированной на экологически чистую энергию.

Заключение

Данная статья фокусируется на интеграции прозрачных солнечных панелей в архитектурный дизайн зданий, подчеркивая их роль в современной энергетике и устойчивом строительстве. Основные выводы пронизывают

несколько ключевых аспектов: во-первых, прозрачные солнечные панели предлагают значительное преимущество, позволяя использовать солнечную энергию без ущерба для естественного освещения, особенно в густонаселенных городах. Во-вторых, применение данной технологии не только снижает затраты на электроэнергию, но и способствует повышению общей энергоэффективности здания за счет использования местных возобновляемых ресурсов и уменьшения углеродного следа.

Значительные достижения в использовании прозрачных солнечных панелей выявляют возможности эффективной интеграции их в системы теплоснабжения и холодоснабжения, усиливая энергетическую независимость и устойчивость зданий. Несмотря на определенные ограничения, такие как уровень прозрачности и эффективность преобразования солнечной энергии, грамотное проектирование и установка могут преодолеть эти барьеры и обеспечить максимальную рабочую производительность. Оптимальное размещение панелей на незатененных плоскостях, особенно на крышах и фасадах, занимает центральное место в процессе их эффективной интеграции в здание.

Наконец, интеграция солнечных панелей в архитектуру способствует увеличению архитектурной привлекательности и функциональной ценности зданий, что играет ключевую роль в переходе к устойчивым методам строительства. Это отражает мировую тенденцию по снижению воздействия на окружающую среду и продвижению экологически чистой энергии. Будущее исследований и практической реализации в данной области, вероятно, будет сосредоточено на разработке более эффективных и доступных решений, что позволит ослабить зависимость от традиционных источников энергии и создать более устойчивые городские пространства. Важно продолжать совершенствовать технологии и проектные решения для достижения этих целей, что станет шагом к устойчивому и экологически чистому будущему.

Библиографический список

1. Башмаков И.А., Башмаков В.И., Борисов К.Б., Дзедзичек М.Г., Драммонд П., Лунин А.А., Лебедев О.В., Карвальхо П. Мониторинг применения низкоуглеродных технологий в России: возможности для ускорения и риски отставания / Центр энергоэффективности – XXI век (ЦЭНЭФ-XXI), University College London. Institute for Sustainable Resources. – Москва, 2020.

2. Колесникова О.Д., Быстрова Т.Ю. Синтез эстетики и технологий энергосбережения в архитектуре придорожного комплекса // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2020. – № 3. – С. 75–76.

3. Наумова О.В., Катков Д.С. Новая технология получения кремния для солнечных элементов // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 1. – URL: <https://esj.today/PDF/41SAVN124.pdf>.

© Вильданов Ф.Х., 2024

УДК 681.5:331.108

К.Я. ЕВДОКИМОВ

E-mail: Ke2556631@mail.ru

Науч. руковод. - канд. техн. наук, проф., **Т.А. ВОЛКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЕКТОРА

Аннотация: статья представляет обзор системы «Диполь К.У.П.О.Л.» для «Индустрии 4.0», а также анализ ее внедрения на предприятии ООО «ПРОМ-ТЭК», занимающимся производством электрической распределительной и регулирующей аппаратуры.

Ключевые слова: «Диполь К.У.П.О.Л.»; радиоэлектронная промышленность, печатные платы, электроэнергетика.

Актуальность

Мы находимся на рубеже четвертой промышленной революции, известной как «Индустрия 4.0». Этот этап характеризуется созданием глобальных промышленных сетей, переходом от традиционных материалов к композитным, а также активным развитием возобновляемых источников энергии. Сегодня широкое применение находят технологии интернета вещей и 3D-печати. Виртуальные помощники и искусственный интеллект уже стали практически неотъемлемой частью жизни человека, а внедряемые инновации позволяют использовать новые возможности для производства распределенной энергетики, осуществления совместного доступа абонентов к ресурсам, что устраняет промежуточные звенья между производителем электроэнергии и ее потребителем, способствует развитию экономики страны в целом.

С учетом вышесказанного особую значимость приобретает создание и внедрение новой системы управления производственными процессами, отвечающей требованиям простоты, гибкости и удобства, которая сможет удовлетворять требования высокотехнологичных компаний, повышая их производительность и экономическую эффективность.

Цель исследования

Анализ применения системы «Диполь К.У.П.О.Л.» в области радиоэлектронной промышленности.

Обзор литературы

«Диполь К.У.П.О.Л.» является системой управления производственными процессами для «Индустрии 4.0». Ее внедрение в систему предприятия позволяет осуществлять простое ведение и заполнение баз данных систем,

гибкое управление производственными и технологическими процессами в сборочных цехах и производственных участках с глубоким воздействием на рабочие места и технологическое оборудование. Система технической поддержки является встроенной и способна отправлять отчеты о произошедших событиях в любой заданной форме в режиме онлайн, а наличие интерфейса прикладного программирования обеспечивает возможность взаимодействия с системой из внешних программных сред без привлечения разработчиков [3].

Кроме того, система «Диполь К.У.П.О.Л.» является отечественной разработкой. Она прошла регистрацию в Роспатенте и получила Свидетельство о регистрации программ ЭВМ №2019618034 и №2019618297 [4].

По мнению автора статьи [2] радиоэлектронная промышленность является самой подготовленной для перехода в «Индустрию 4.0». Нельзя с ним не согласиться, так как радиоэлектронная промышленность является самой подходящей отраслью для реализации принципов и технологий «Индустрии 4.0». Радиоэлектроника оснащена самым современным оборудованием и передовыми технологиями производства, обладающими самым высоким уровнем автоматизации процессов, поэтому использование системы комплексного управления производством и логистикой К.У.П.О.Л., разработанной специалистами АО «Диполь», в этой области промышленности позволит упростить управление технологическими процессами.

Применение системы в отрасли электроэнергетики

В статье [1] автор описывает, что система «Диполь К.У.П.О.Л.» представляет собой программное обеспечение, предназначенное для оптимизации производственных процессов в различных отраслях, включая сферу электроэнергетики. На примере ее внедрения в производственном объединении «Элтехника» продемонстрировано, как цифровизация способствует повышению эффективности работы предприятия, занимающегося выпуском оборудования для электроэнергетики.

На предприятии «Элтехника» внедрение комплекса «Диполь К.У.П.О.Л.» было ориентировано на автоматизацию производственных операций, связанных с созданием жгутовых сборок — важного элемента систем электроснабжения. Компания специализируется на современных решениях для обеспечения электроэнергией объектов различной сложности, что делает использование системы актуальным шагом для повышения конкурентных преимуществ в отрасли.

Причинами выбора комплекса «Диполь К.У.П.О.Л.» для автоматизации стали:

- широкий функционал, обеспечивающий автоматизацию технологических операций;
- возможность получения полной информации о каждом объекте на любом этапе процесса;

– интеграция работы различных специалистов в едином технологическом цикле.

Одним из основных результатов внедрения стало сокращение времени на производственные операции благодаря аналитическим возможностям системы. «Диполь К.У.П.О.Л.» позволяет планировать загрузку оборудования, основываясь на собранных данных, контролировать движение изделий через сборочные линии, а также загружать в оборудование необходимые инструкции. Это минимизировало временные затраты сотрудников на ввод и проверку данных, что значительно увеличило уровень автоматизации на производстве.

В дальнейшем предприятие «Элтехника» планирует расширить применение комплекса для автоматизации складских и логистических процессов. Руководство компании подчеркивает, что «Диполь К.У.П.О.Л.» является эффективным решением для организаций, работающих в области электроснабжения объектов любой сложности, и заслуживает внимания.

Также, в статье [6] автор указывает, что в настоящее время система успешно работает на предприятии Государственного аэрокосмического приборостроения в Санкт-Петербурге АО «РАДИУС Автоматика». А заканчивается ее внедрение на площадке одного из крупнейших российских предприятий по производству печатных плат и электронных модулей - Санкт-Петербургской компании «А-Контакт».

Выводы по результатам исследования

Предприятие ООО «ПРОМ-ТЭК», рассмотренное мною в качестве площадки для внедрения системы К.У.П.О.Л., относится к радиоэлектронной промышленности. Компания решает довольно широкий спектр задач, включая разработку печатных плат и изготовления конечного продукта – средств промышленной автоматизации.

Система «Диполь К.У.П.О.Л.» обширна и имеет множество компонентов для автоматизации производства (Рисунок 1). Поэтому мною была рассмотрена самая отстающая в плане автоматизации часть производства – сборочных цех.

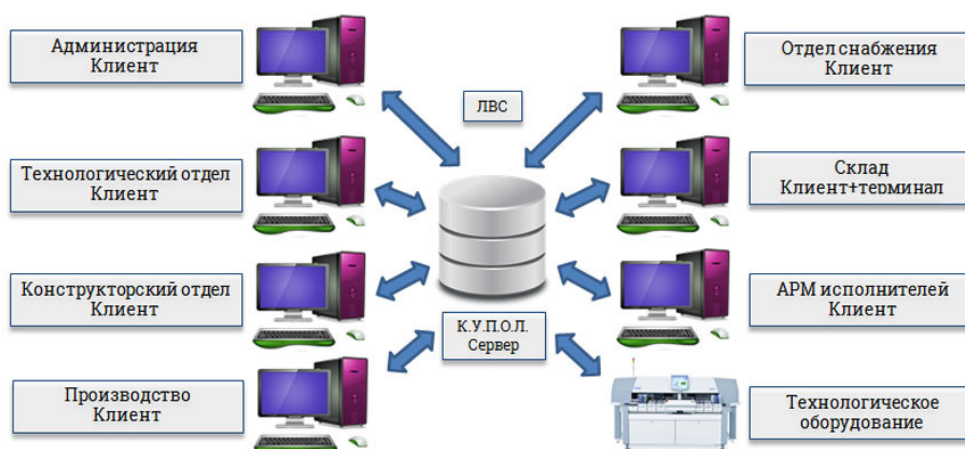


Рис. 14. Функциональная схема системы управления «К.У.П.О.Л.»

Ключевым ресурсом сборочного цеха является человеческий труд. В рабочих зонах сборщиков плат отсутствуют системы автоматизации и мониторинга. Там располагается только базовый набор оборудования для пайки, ручного монтажа, а также инструменты для обрезки проводов и другие вспомогательные средства.

Для повышения эффективности работы сборочного цеха система управления производством должна выполнять следующие задачи:

- сбор информации о производственных и технологических процессах;
- обработка и анализ собранных данных;
- подготовка отчетов и аналитических материалов в удобном формате для передачи на вышестоящий уровень управления;
- распределение управленческих решений внутри подразделений и между уровнями структуры управления.

Для выполнения перечисленных функций необходимо внедрение автоматизированных рабочих мест в сборочном цеху. Программный комплекс «Диполь К.У.П.О.Л.» предоставляет возможности автоматизации таких операций, как:

- управление оборудованием и рабочими местами маркировщиков, контролеров, сборщиков и монтажников; планирование их деятельности;
- обработка статистических данных (создание отчетных форм, экспорт данных в Excel или другие форматы, построение таблиц, графиков и диаграмм на основании собранной информации).

Для полноценной работы автоматизированных рабочих мест требуется оснащение их POS-терминалом (например, АТОЛ) для доступа к технологической документации и инструкциям, а также сканером для учета плат и комплектующих с использованием QR-кодов (Рис. 2).



Рис. 15. Автоматизированное рабочее место для выполнения ручных операций

Эти инструменты обеспечат выполнение следующих функций:

«Планировщик», что позволит минимизировать простои персонала и оборудования;

- создание актуализированной документации электронной библиотеки и упрощение учетных операций;
- интегрированная система учета с терминалами идентификации, адресным хранением изделий и комплектующих, автоматической регистрацией расхода материалов вплоть до отдельных операций;
- отслеживание ручных операций и повышение ответственности сотрудников на рабочих местах.

Выводы

В результате изучения различных источников и анализа применения системы к конкретной области промышленности, можно сделать вывод, что система хорошо себя показывает. Однако ее внедрение в отрасли производства лишь на раннем этапе, в частности, применять ее могут предприятия, работающие в области, где уже применяются современное оборудование и технологии автоматизированного производства, которые не имеют централизованного контроля.

Применение системы «Диполь К.У.П.О.Л.» в производственных процессах предприятия ООО «ПРОМ-ТЭК» может показать себя наилучшим образом, повышая его эффективность. Однако, стоит учитывать, что необходимы дополнительные инструменты и оснащения производственных площадок для возможности полноценного использования системы «Диполь К.У.П.О.Л.».

Библиографический список

1. Наволокина В. "Диполь к.у.п.о.л." – система для оперативного управление производственным циклом на предприятии // Технологии в электронной промышленности. – 2020. – № 5. с. 57–59.
2. Яковенко О. "Индустрия 4.0" в радиоэлектронной промышленности // Технологии в электронной промышленности. – 2021. - № 3. – с. 65–67.
3. Быханов С. "к.у.п.о.л." - система управления производственными процессами для "индустрии 4.0" // control engineering россия. – 2019. – № 5. - с. 62–65.
4. Диполь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dipaul.ru/news/sistema-upravleniya-kupol/>.
5. Иванов Д. Система управления производственными процессами диполь к.у.п.о.л. открывает двери в индустрию 4.0 // САПР и графика. – 2020 - № 9. – с. 50–54.
6. Система «диполь к.у.п.о.л.» - профессиональный инструмент для управления производственными процессами в радиоэлектронике // информатизация и системы управления в промышленности. – 2024. № 2. – с. 25–28.

© Евдокимов К.Я., 2024

УДК 681.5

Д.Ю. ИКСАНОВ, Р.И. ГАРЕЕВ

pro100.Den@mail.ru, rustamgareev85@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **М.Б. ГАРЕЕВА**

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ КАК ЭЛЕМЕНТА ПЕРЕХОДА К ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО

Аннотация: энергетическая Стратегия Российской Федерации на период до 2035 года определяет приоритеты государственной энергетической политики по всем отраслям топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Внедрение цифровых подстанций позволит достигнуть запланированных целевых показателей. Одной из задач на этом пути является необходимость формирования квалифицированного персонала предприятий электроэнергетики, обладающих цифровыми компетенциями.

Ключевые слова: цифровая подстанция (ЦП); МЭК 61850; персонал электроэнергетической отрасли.

Согласно Энергетической Стратегии Российской Федерации планируется обеспечение ускоренного внедрения цифровых технологий в экономике и социальной сфере (формирование системы управления, координации и мониторинга цифрового ТЭК), в государственное управление и контрольно-надзорную деятельность в отраслях ТЭК, реализации пилотных проектов по внедрению цифровых технологий и отраслевых платформенных решений.

К 2035 году планируется выполнение задач, которые включают снижение электроемкости ВВП и энергоемкости, доступность электроэнергии по наличию, срокам подключения, а также стоимости, сокращение удельных расходов топлива для выработки энергии, сокращение расходов электроэнергии на собственные нужды в электроэнергетике и газовой отрасли, уменьшение вредного воздействия на окружающую среду предприятиями ТЭК; полное обеспечение квалифицированными кадрами.

Цифровизация электроэнергетической отрасли, одним из аспектов которой является переход от «традиционных» подстанций к цифровым, ведет к повышению надежности электроснабжения потребителей благодаря быстрому обнаружению и устранению неисправностей.

Новые технологии ЦП позволяют оптимизировать распределение электроэнергии в пиковые моменты, таким образом обеспечивая эффективное управление нагрузкой. Удаленный мониторинг и управление на ЦП позволяет более эффективно управлять инфраструктурой и снижать затраты на эксплуатацию.

Кроме того, внедрение цифровых подстанций приведет к более эффективному использованию ресурсов и снижению углеродного следа, интеграции возобновляемых источников энергии, так как обеспечивают лучшие условия для подключения солнечных и ветровых установок.

Цифровые подстанции отличаются от традиционных подстанций следующими аспектами: 1. Использование цифровых технологий вместо аналоговых, что обеспечивает более высокую точность и надежность данных. 2. Автоматизация процессов, что снижает необходимость в ручном управлении и повышает оперативность. 3. Интеграция с системами SCADA и другими цифровыми платформами для мониторинга и управления. 4. Улучшенная защита и диагностика оборудования, что позволяет заранее выявлять неисправности. 5. Упрощенное масштабирование и модернизация благодаря модульной архитектуре. 6. Снижение размеров оборудования и пространства, занимаемого подстанцией. 7. Возможность удаленного контроля и управления.

Разумеется, на этапе внедрения цифровых подстанций возникнут сложности, связанные с высокими первоначальными инвестициями в оборудование и технологии, необходимостью переобучения персонала для работы с новыми системами, интеграцией с существующими инфраструктурами и системами, обеспечением кибербезопасности и защитой данных, сложностями в стандартизации и совместимости оборудования разных производителей, необходимостью постоянного обновления технологий и программного обеспечения, возможными перебоями в работе во время переходного периода.

После внедрения цифровых подстанций неизбежно последуют изменения в структуре и функционале оперативного персонала:

1. Увеличение роли аналитиков данных, которые будут обрабатывать информацию с цифровых систем.

2. Снижение количества необходимых операторов благодаря автоматизации процессов.

3. Появление новых специалистов в области кибербезопасности для защиты цифровых систем.

4. Переобучение существующего персонала для работы с новыми технологиями и программным обеспечением.

5. Увеличение акцента на удаленный мониторинг и управление, что может изменить рабочие процессы.

6. Внедрение командной работы с использованием современных инструментов коммуникации и совместной работы.

7. Изменение подходов к техническому обслуживанию, с акцентом на превентивное и предсказательное обслуживание.

Сложность наладки и эксплуатации напрямую зависит от компетенции обслуживающего персонала. Если четко ясна структура подстанции, правильно спроектирована, налажена, если корректно настроен обмен данными в локальной сети, то, определенно, ЦП намного удобнее с точки зрения обслуживания и дальнейшей модернизации.

Применение цифровых технологий для удаленных средств управления и мониторинга требует разработки и внедрения программ в области управления персоналом на основе передового опыта, обеспечивающего повышение эффективности инвестиций в человеческий капитал, удержание лучших кадров в отрасли, высокий уровень мотивации работников.

На основе проведенных исследований авторами были сформулированы предложения по усовершенствованию работы персонала цифровых подстанций:

1. Регулярное обучение и повышение квалификации: Организация тренингов и семинаров для персонала по новым технологиям и методам работы.

2. Улучшение коммуникации: Создание платформы для обмена информацией среди сотрудников для повышения координации действий.

3. Внедрение системы управления знаниями: Создание базы данных с документацией и инструкциями для быстрого доступа к необходимой информации.

4. Повышение безопасности труда: Разработка и реализация программ по охране труда и обучению безопасности.

5. Обратная связь и оценка эффективности: Регулярное проведение опросов и оценка работы персонала для выявления проблем и предложений по улучшению.

6. Поддержка командного духа: Организация корпоративных мероприятий для повышения сплоченности коллектива.

Так же разработаны меры по повышению эффективности управления персоналом подстанций в связи с переходом на цифровые технологии

1. Разработка стратегического плана внедрения цифровых технологий: Определение ключевых этапов и целей для успешного перехода на цифровые решения.

2. Обучение персонала: Организация курсов и тренингов по новым цифровым инструментам и технологиям для повышения квалификации сотрудников.

3. Внедрение системы управления проектами: Использование специализированных программ для планирования, контроля и анализа выполнения задач.

4. Создание единой информационной базы: Обеспечение доступа к актуальной информации о работе подстанций для всех сотрудников.

5. Поддержка инициатив сотрудников: Стимулирование предложений и идей по улучшению процессов управления и работы с цифровыми технологиями.

6. Регулярные оценки производительности: Введение системы KPI для мониторинга успехов сотрудников и команд.

7. Улучшение внутренней коммуникации: Использование мессенджеров и платформ для обмена информацией и быстрого решения возникающих вопросов.

8. Мотивация сотрудников: Внедрение программ поощрения за достижения и активное участие в цифровизации процессов.

9. Обратная связь и корректировка процессов: Регулярное получение отзывов от персонала для адаптации методов управления и повышения эффективности.

Библиографический список

1. Алексинский, С.О. Варианты архитектурных решений релейной защиты и автоматики «цифровой подстанции» 110–220 кВ / С.О. Алексинский // Вестник ИГУЭ. – 2011. – № 1. – с. 1–5).

2. Программа инновационного развития ПАО «ФСК ЕЭС» на 2016-2020 годы с перспективой до 2025 года [Электронный ресурс]: Приложение 3 к протоколу № 370 заседания совета директоров ПАО «ФСК ЕЭС» 07.06.2017. URL:

http://cipi.samgtu.ru/sites/cipi.samgtu.ru/files/32_publichnoe_akcionernoe_obshchestvo_federalnaya_setevaya_kompaniya_edinoy_energeticheskoy_sistemy.pdf (дата обращения 15.06.23).

3. Чичёв С.И., Калинин В.Ф., Глинкин Е.И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий. – Москва: Издательский дом «Спектр», 2014. – 228 с. – ISBN 978-5-4442-0076-6.

4. Симонов А.М., Паршин В.А., Нагиев А.Р. Цифровая подстанция и промышленные проблемы // Современные тенденции в науке, технике, образовании. 2018. № 2. С. 83-84

5. Рожкова Л.Д. Электрооборудование электрических станций и подстанций: Учебник. М.: Academia, 2017. 160 с.

6. Энергетическая стратегия России до 2035 г. http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.pdf

© Иксанов Д.Ю., Гареев Р.И., 2024

УДК 620.92

НОРКИН Д.Ф., ГРИГОРЬЕВА Ю.В.

norkin01@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Ю. ПАШАЛИ**

Уфимский университет науки и технологий

**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ
ПЕРСОНАЛА ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ
ОСВЕЩЕНИЯ НА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЯХ**

Аннотация: авторами рассмотрены трудовые функции персонала по обслуживанию автономных систем освещения на солнечных панелях на основании профессионального стандарта, а также приведен учебный план разработанной программы повышения квалификации.

Ключевые слова: автономная система освещения, солнечная панель, персонал, программа повышения квалификации, учебный план.

Недостаточное освещение дорог является одной из основных причин высокой смертности пешеходов в дорожно-транспортных происшествиях (ДТП) в России, где ежегодно погибают сотни тысяч человек. Для решения этой проблемы предлагается использовать автономные системы освещения, работающие за счет солнечной энергии (АСО на СП). Данная технология может значительно улучшить видимость на дорогах, повысить безопасность пешеходов и снизить количество аварийных ситуаций.

Поддержание безупречной работы автоматизированных систем управления специализированного назначения (АСО СП) напрямую зависит от регулярного профессионального развития специалистов, отвечающих за их эксплуатацию и обслуживание. Повышая квалификацию, специалисты приобретают необходимые знания и навыки для эффективного управления и поддержания систем в оптимальном состоянии, обеспечивая их бесперебойное функционирование и готовность к реагированию на различные операционные задачи.

Для обеспечения бесперебойной и эффективной работы солнечных электростанций (СЭС) в соответствии с профессиональным стандартом [2] осуществляются следующие операции по эксплуатации оборудования: управление режимами работы СЭС путем настройки и оптимизации параметров оборудования, организация технического обслуживания и содержания СЭС, включая плановые проверки, ремонт и замену вышедших из строя компонентов, непрерывный мониторинг работы СЭС с целью раннего выявления сбоев и неисправностей, обеспечение необходимыми материалами и оборудованием для эффективной эксплуатации СЭС, постоянный контроль технического состояния оборудования и его соответствия установленным нормам безопасности и надежности.

Техники по обслуживанию электростанций на солнечной энергии (СЭС) выполняют следующие задачи: управление переключениями в электрических установках СЭС; замена частей оборудования СЭС; диагностика и устранение сбоев и неисправностей оборудования СЭС; мониторинг загрязнения и запыления; визуальный осмотр фотоэлектрических панелей на наличие дефектов; измерение электротехнических параметров оборудования СЭС; чистка и обслуживание метеостанций.

Для эффективного выполнения возложенных задач специалист должен обладать следующими компетенциями: поддержание чистоты фотоэлектрических панелей; создание схем переключения электроустановок солнечных электростанций (СЭС); диагностика неисправностей

оборудования СЭС; проверка функциональности оборудования СЭС. Использование специальных инструментов, приспособлений и материалов для обслуживания оборудования СЭС; устранение сбоев в работе оборудования СЭС; ведение необходимой технической и оперативной документации.

Обязанности технического специалиста по обслуживанию солнечных электростанций: обеспечение чистоты солнечных панелей для оптимальной производительности; составление схем переключения для безопасной работы электрической системы; диагностика неисправностей с использованием инструментов; ремонт неисправного оборудования, заменяя необходимые детали; ведение технической документации для отслеживания обслуживания.

Регулярное нарастание пыли, мусора и птичьих испражнений на солнечных батареях может препятствовать их эффективной работе. Чтобы поддерживать оптимальную эффективность панелей, крайне важно обеспечить своевременную и регулярную очистку и техническое обслуживание.

Солнечные панели можно очищать различными методами: вручную, используя губку или щетку с мягким ворсом как показано на рисунке 1(а); с помощью применения автоматизированных устройств или системы, предназначенных для очистки солнечных панелей и полу автоматизированных средств, которое частично автоматизирует процесс чистки, показанных на рисунке 1(б).



Рис. 1. Ручной (а) и полуавтоматический (б) способ очистки СП

Для ухода за солнечными панелями следует соблюдать инструкции производителя, учитывая особенности их покрытия и материалов. Рекомендуется производить чистку в утренние или вечерние часы, когда солнце светит не так интенсивно. Использование чистящих средств в условиях интенсивного солнечного излучения может привести к быстрому испарению, оставляя пятна или другие загрязнения на панелях.

Регулярное техобслуживание солнечных панелей специалистами гарантирует их максимальную производительность, оптимизируя поглощение солнечного света.

Для повышения квалификации персонала авторами был разработан учебный план и рабочая программа образовательной программы повышения квалификации «Монтажник солнечных панелей автономных систем освещения» [3]. Объем программы 72 академических часа, форма обучения очно-заочная (таблица 1).

Таблица 1

Учебно-тематический план программы

п/п	Наименование тем программы	сего к. часов	очно, ак. час	очно, ак. час
	Монтажные работы. Чтение проекта по установке АСО СП		4	4
	Проверка и настройка АСО СП. Работа с инструкцией по установке	2	6	6
	Документация по монтажу АСО СП. Составление документации. Нормативно-техническая база. Различные виды креплений солнечных панелей. Подключение и настройка оборудования, запуск и остановка системы, программирование настроек	6	8	8
	Консультирование пользователя или заказчика по эксплуатации АСО СП. Инструкции по очистке солнечных панелей.	2	6	6
	Техническое обслуживание оборудования АСО СП. Выбор средств для очистки СП.	0	6	4
	Безопасность высотных работ. Требования к технике безопасности при выполнении работ на высотных сооружениях. Требования к состоянию применяемого оборудования, средства защиты, безопасный порядок выполнения различных видов работ. Нормативно-техническая документация.	2	6	6
	Итого	0	6	3
	Итоговая аттестация (зачет в виде тестирования)			4
	Итого по программе	2		

Библиографический список

1. Строительство специальных автоматизированных систем - Обустройство пешеходных переходов. [Электронный ресурс] URL: <https://kb-spectech.ru/projects8.html> (дата обращения 25.10.2024).

2. Профстандарт: 20.046 - Работник по эксплуатации оборудования солнечных электростанций.

3. Курсы монтажника солнечных панелей. [Электронный ресурс]
URL: <https://buseduc.com/ru/kursy/kurs-montazhnika-solnechnyh-batarej/> (дата обращения 02.11.2024).

© Норкин Д.Ф., Григорьева Ю.В., 2024

УДК 331.453

Р.Р. НУРТДИНОВ

resha.nurtdinov@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент кафедры ЭЭТ **Н.Л. БАБИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

**ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ НАРУШЕНИЙ
ТРЕБОВАНИЙ ОХРАНЫ ТРУДА С ПРИМЕНЕНИЕМ
ПЕРСОНАЛЬНЫХ ВИДЕОРЕГИСТРАТОРОВ И ОПОВЕЩАТЕЛЕЙ**

Аннотация: статья посвящена применению технологий машинного зрения в сфере охраны труда. Рассматриваются методы и подходы, позволяющие автоматизировать процессы контроля за соблюдением требований безопасности на производстве, а также повысить эффективность профилактических мер.

Ключевые слова: машинное зрение, охрана труда, безопасность на производстве, технологии, автоматизация, контроль, риски, опасности, повышение безопасности.

В современных реалиях сфера охраны труда претерпела кардинальные изменения по сравнению с её первоначальными представлениями. Прогрессирующая наука создает все более сложные и трудоемкие производственные процессы и технологии, что повышает риски несчастных случаев и чрезвычайных ситуаций на рабочих местах. Возросли также требования властей к безопасности на предприятии во многих государствах.

В связи с этим возникает вопрос о разработке и использовании инновационных технологий для выявления нарушений требований охраны труда. Одним из таких решений является применение машинного зрения. Эта технология позволяет автоматизировать процесс мониторинга рабочей среды, обнаружения нарушений требований охраны труда и потенциальных опасностей.

Машинное зрение – это технология, которая позволяет компьютерам получить изображения или видео при помощи камер или иных датчиков и сенсоров с дальнейшей её обработкой и использованием полученных данных для решения прикладных задач без участия человека.

Задачами для машинного зрения определяются основными целями, которые ставятся перед ней. Среди них может быть:

1. Контроль над рабочей средой и обнаружение потенциальных опасностей. Машинное зрение может отслеживать соблюдение требований

правил безопасности, правил ношения средств индивидуальной защиты, контроль состояния исправности оборудования и помещения;

2. Эффективность инспекции и проверок. Благодаря автоматизированной системе, можно быстро и точно проанализировать большие объемы данных, выявляя нарушения и предлагая меры по их устранению, что позволяет сократить время на проведение инспекций и повысить их качество;

3. Обучение и тренировка работников правилам безопасности. С внедрением технологий искусственного интеллекта открывается возможность применения систем виртуальной реальности и тренажер, которые позволят работникам отрабатывать навыки безопасного поведения в различных ситуациях без риска для здоровья.

По мере внедрения технологий машинного зрения поднимается вопрос о роли человека в обеспечении безопасности на производстве. Хотя машинное зрение может автоматизировать многие процессы и повысить эффективность соблюдения требований охраны труда, человеческий фактор остается ключевым элементом в системе охраны труда.

Несмотря на все преимущества машинного зрения, окончательное решение о мерах по устранению нарушений и предотвращений аварий все равно принимает человек. Операторы и инженеры должны анализировать данные, полученные с помощью машинного зрения, и принимать соответствующие решения. Но человеческий фактор может быть источником ошибок, особенно в условиях стресса и нехватки времени.

Для разгрузки специалистов или руководителей от постоянного контроля за соблюдением требований охраны труда, эту функцию можно возложить частично на машинное зрение, с помощью персональных видеорегистраторов и оповещателей. Также персональные видеорегистраторы и оповещатели увеличивают площадь и точность контроля машинного зрения в ограниченных и труднодоступных местах по сравнению одной лишь системы стационарных камер, чье применение ограничено множеством факторов.

В наше время персональные видеорегистраторы имеют очень большой функционал, но при этом имеют компактные размеры, что подходит для интеграции его в производственный процесс и использования его в течение всего рабочего времени.

Предлагаемое решение имеет ряд преимуществ:

- Запись происходящего. Видеорегистраторы фиксируют и передают все, что происходит на рабочем месте, в местах недоступных обзору стационарных камер наблюдения, позволяя анализировать ситуации и предотвращать несчастные случаи;

- Доказательная база. Записи с видеорегистраторов могут служить доказательством при расследовании инцидентов и выявлении виновных;

- Повышение ответственности. Наличие видеорегистраторов может повысить уровень ответственности работников, так как они будут более осторожными и внимательными на рабочем месте.

Несмотря на очевидные преимущества, использование персональных видеорегистраторов имеет также недостатки:

- Дополнительные затраты. Внедрение и обслуживание устройств требует дополнительных финансовых затрат;

- Проблемы конфиденциальности;

- Технические проблемы. Возможны технические сбои и неполадки, которые могут привести к потере связи или важных записей.

Персональные оповещатели также имеют возможность интеграции как в виде наручных часов, наподобие фитнес-браслет, так и встроенных в средства индивидуальной защиты. Они могут подавать сигналы в форме вибраций, звука или света, а также текстового вида, в зависимости от технологий процесса и методики обучения обратной связи машинного зрения.

Данное решение имеет свой ряд преимуществ и недостатков.

Среди преимуществ интеграции персональных оповещателей можно выделить:

- быстрое реагирование работников на потенциальные опасности и нарушения;

- возможность своевременно принимать меры по устранению угроз;

- повышения уровня безопасности на предприятии.

Среди недостатков можно отметить:

- ложные срабатывания из-за неисправности или получения помех или недостоверных сигналов;

- увеличение расходов на обслуживание, ремонт и обновления устройств.

На основе данных полученных со всех персональных устройств, а также с системы машинного зрения появляется возможность создания комплексов по прогнозированию, обучению персонала, анализу закономерностей и тенденций. Совмещение технологий искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности создает основу для создания тренажеров и программ, которые открывают возможность для обучения персонала с полным погружением в реальные рабочие, как нормальные, так и аварийные условия. Это позволяет безопасно для человека и оборудованию представить и освоить навыки и мероприятия по выполнению требований охраны труда.

В наше время, полного исключения участия человека от производственного процесса не возможно. Даже учитывая тот факт, что на обучение системы машинного зрения необходимо активное участие человека, от процесса программирования, до участия в качестве работника, за которым производится контроль требований охраны труда.

Но развитие искусственного интеллекта не стоит на месте, эта область начинает охватывать все больше отраслей и сфер деятельности человека. Благодаря этому скорым временем появятся еще более инновационные решения, которые позволят еще более эффективнее предотвращать несчастные случаи и увеличат безопасность на рабочих местах, создавая благоприятные условия труда.

Библиографический список

1. Ясницкий Л.Н. Введение в искусственный интеллект. – М.: Академия, 2005.
2. Форсайт Д.А., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Вильямс, 2004.
3. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006.
4. Девисилов В.А. Охрана труда: учебник. – М.: Форум, Инфра-М, 2022.
5. Беляков Г.И. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда в 2 т. Том: Юрайт, 2021.
6. Условия труда. Производственный травматизм (по отдельным видам экономической деятельности) // Федеральная служба государственной статистики. – 2024.
URL: https://rosstat.gov.ru/working_conditions (дата обращения: 14.11.2024).
7. Левичев, И.П. Разработка портативной системы машинного зрения для контроля производственной безопасности и поведения персонала / И.П. Левичев. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2020. – № 26 (316). – 7-9 с.
URL: <https://moluch.ru/archive/316/72241/> (дата обращения: 14.11.2024).
8. Система контроля ношения СИЗ на теплоэлектростанции // Центр 2М. – 2022.
URL: <https://center2m.ru/energoholding> (дата обращения: 14.11.2024).
9. На Кольской АЭС введена в эксплуатацию система «машинного зрения». АО «Концерн Росэнергоатом», – 2019.
URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-kolskoy-aes/press-tsentr/novosti/33638/ (дата обращения: 14.11.2024).

© Нуртдинов Р.Р., 2024

УДК 614.8

Ш.Ф. ЯИКБАЕВ

yikbae02@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Ю. ПАШАЛИ**

Уфимский университет науки и технологий

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Аннотация: рассматриваются современные подходы к повышению надежности кабельных линий с акцентом на энергоэффективность.

Анализируются основные факторы, влияющие на долговечность и стабильность работы кабельных систем, включая выбор материалов, технологии монтажа и методы диагностики.

Ключевые слова: кабельные линии, энергоэффективность, материалы, надежность, потеря эффективности.

В современном мире, где энергетические системы играют ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности общества, повышение надежности кабельных линий становится особенно актуальной задачей. Надежность кабельных линий напрямую влияет на стабильность электроснабжения, что, в свою очередь, сказывается на функционировании различных отраслей экономики и качества жизни людей. Обоснование выбора данной темы связано с необходимостью решения как практических, так и теоретических проблем, возникающих в процессе эксплуатации кабельных систем [1].

Цель данного исследования заключается в разработке рекомендаций по повышению надежности кабельных линий, что позволит минимизировать риски их выхода из строя и повысить общую эффективность энергоснабжения. В рамках этой работы мы намерены выявить основные факторы, влияющие на надежность кабельных систем, а также предложить инновационные подходы к их улучшению.

Для достижения поставленной цели необходимо решить несколько задач. Во-первых, следует провести анализ существующих методов оценки надежности кабельных линий. Во-вторых, важно выявить основные причины отказов и сбоев в работе кабельных систем. В-третьих, необходимо рассмотреть современные технологии и материалы, которые могут способствовать повышению надежности. Наконец, следует разработать рекомендации по внедрению систем мониторинга и диагностики состояния кабелей [2].

Объектом исследования являются кабельные линии как часть электрических сетей, а предметом — аспекты их надежности, включая факторы, влияющие на долговечность и устойчивость к внешним воздействиям.

Гипотеза нашего исследования заключается в том, что применение современных технологий и материалов в сочетании с эффективными системами мониторинга может значительно повысить надежность кабельных линий и снизить вероятность их выхода из строя. Подтверждение или опровержение данной гипотезы станет основой для формирования рекомендаций по улучшению эксплуатационных характеристик кабельных систем.

В последние десятилетия вопрос повышения надежности кабельных линий стал предметом активного изучения как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе. Одной из ключевых теорий, рассматривающих надежность электрических систем, является теория вероятностного анализа, предложенная такими учеными, как М. Шерман и Д. Мерфи. Они разработали модели, позволяющие оценивать вероятность отказов кабельных линий в зависимости от различных факторов, таких как условия эксплуатации и тип используемых материалов [3].

Среди современных исследований можно выделить работы, посвященные применению новых технологий, таких как оптоволоконные датчики для мониторинга состояния кабелей в реальном времени. Эти технологии позволяют оперативно выявлять потенциальные неисправности и значительно снижают риск аварийных ситуаций. Однако, несмотря на явные преимущества, такие подходы требуют значительных финансовых вложений и технического обслуживания, что может стать ограничивающим фактором для их широкого применения.

Другим важным аспектом является использование новых материалов, таких как полимерные изоляции, которые обладают высокой устойчивостью к внешним воздействиям и могут значительно увеличить срок службы кабелей. Тем не менее, недостатком таких материалов может быть их высокая стоимость и необходимость разработки новых стандартов для их применения [4].

Сравнительный анализ зарубежного и отечественного опыта в области повышения надежности кабельных линий показывает значительные различия в подходах к решению данной проблемы. Например, в странах Европы активно внедряются системы автоматизированного мониторинга, которые позволяют отслеживать состояние кабелей на всех этапах эксплуатации. В Германии и Швеции разработаны программы по регулярному тестированию и обслуживанию кабельных систем, что способствует снижению числа аварий и повышению общей надежности энергосистем.

В России также наблюдается рост интереса к вопросам надежности кабельных линий, однако многие компании до сих пор используют устаревшие методы диагностики и обслуживания. Это приводит к тому, что потенциальные проблемы не выявляются на ранних стадиях, что увеличивает вероятность серьезных сбоев в работе электросетей. Положительным моментом является то, что в последнее время наблюдается тенденция к внедрению современных технологий и методов управления, однако темпы этого процесса остаются недостаточно высокими.

Несмотря на значительное количество исследований в области повышения надежности кабельных линий, остаются определенные пробелы в знаниях. В частности, недостаточно изучены вопросы долгосрочного влияния климатических изменений на эксплуатационные характеристики кабелей. Существующие исследования часто сосредоточены на отдельных аспектах надежности, таких как материалы или технологии мониторинга, но не учитывают комплексное воздействие различных факторов на долговечность кабельных систем [5].

В процессе исследования повышения надежности кабельных линий был выбран комплексный подход, который включает как количественные, так и качественные методы анализа. Основными методами, использованными в данном исследовании, стали статистический анализ, моделирование и методы диагностики состояния кабелей.

Статистический анализ позволяет оценить вероятность отказов кабельных линий на основе исторических данных о их эксплуатации. Этот метод дает

возможность выявить закономерности в возникновении неисправностей и оценить влияние различных факторов, таких как климатические условия, типы материалов и режимы эксплуатации. Моделирование, в свою очередь, помогает смоделировать различные сценарии работы кабельных систем и протестировать их устойчивость к внешним воздействиям. Это особенно важно в условиях изменения климата, когда традиционные параметры надежности могут оказаться недостаточными [6].

Обоснование эффективности выбранных методик заключается в их способности обеспечить комплексный взгляд на проблему надежности. Комбинация статистического анализа и современных методов диагностики позволяет не только оценить текущее состояние кабелей, но и предсказать возможные отказы, что является ключевым для повышения общей надежности электрических сетей [7].

Кроме того, проведены контрольные испытания с целью верификации результатов диагностики. Например, результаты термографии сопоставлялись с данными ультразвукового тестирования для подтверждения выявленных аномалий. Такой подход позволяет существенно повысить доверие к полученным выводам и рекомендациям.

В ходе исследования по повышению надежности кабельных линий были собраны данные, охватывающие различные аспекты эксплуатации и состояния кабелей. Эти данные были организованы в виде таблиц и диаграмм, что позволило наглядно представить информацию и выявить ключевые закономерности (табл.1).

Таблица 1

Частота отказов кабелей различных типов в зависимости от климатических условий и времени эксплуатации

Тип кабеля	Возраст (лет)	Количество осадков	Условия эксплуатации	Температура (°C)	Влажность (%)
Кабель А	5	2	Умеренный климат	15	60
Кабель В	10	5	Высокая влажность	25	85
Кабель С	15	10	Холодный климат	-5	40
Кабель D	3	1	Умеренный климат	20	50
Кабель E	20	15	Высокая температура	35	30
Кабель F	8	4	Умеренный климат	18	55
Кабель G	12	8	Высокая влажность	28	90
Кабель H	25	20	Холодный кл.	-10	35

Структура данных показала, что кабели, эксплуатируемые в условиях высокой влажности и температурных колебаний, имеют значительно более высокую частоту отказов. Кроме того, была выявлена закономерность: кабели с более старой изоляцией чаще выходят из строя, что подчеркивает важность регулярного мониторинга состояния изоляционных материалов.

Сравнение полученных данных с результатами других исследований показало определенные совпадения и расхождения. Например, аналогичные исследования, проведенные в других регионах, также указывают на высокую зависимость частоты отказов от климатических условий. Однако в некоторых случаях наблюдались расхождения в частоте отказов для одинаковых типов кабелей, что может быть связано с различиями в качестве материалов или технологиях производства.

Объяснение этих расхождений может заключаться в особенностях эксплуатации кабелей в разных климатических зонах или в различиях в методах диагностики и мониторинга состояния. Это подчеркивает важность учета местных условий при разработке рекомендаций по повышению надежности кабельных линий [8].

Учитывая полученные результаты, можно уточнить ход исследования. Например, необходимо провести дополнительные испытания на более широком наборе данных для более точной оценки влияния различных факторов на надежность кабельных линий. Также следует рассмотреть возможность внедрения новых технологий диагностики, которые могут помочь в более раннем выявлении потенциальных проблем. Таким образом, исследование продолжает развиваться, направляя усилия на улучшение практических рекомендаций по эксплуатации кабельных систем.

Проведенное исследование по повышению надежности кабельных линий подтвердило важность комплексного подхода к решению данной проблемы. Целью работы было разработать рекомендации, направленные на минимизацию рисков выхода из строя кабельных систем и повышение общей эффективности энергоснабжения. В процессе анализа существующих методов оценки надежности кабельных линий мы выявили, что многие из них не учитывают специфические условия эксплуатации и современные технологические достижения.

Основные причины отказов и сбоев в работе кабельных систем были связаны с воздействием климатических факторов, неправильным выбором материалов и недостаточной системой мониторинга состояния кабелей. Эти выводы подчеркивают необходимость более тщательного подхода к проектированию и эксплуатации кабельных линий, включая учет внешних условий и использование высококачественных материалов.

Современные технологии и инновационные материалы, такие как кабели с повышенной устойчивостью к внешним воздействиям и системы автоматизированного мониторинга, могут значительно повысить надежность кабельных систем. Рекомендации по внедрению таких технологий и систем

диагностики состояния кабелей позволят не только сократить количество отказов, но и оптимизировать процесс эксплуатации, что в конечном итоге приведет к снижению затрат на обслуживание и ремонты.

Таким образом, результаты нашего исследования подчеркивают необходимость интеграции современных подходов и технологий в практику эксплуатации кабельных линий для достижения высокой надежности и эффективности энергоснабжения.

Библиографический список

1. Смирнов, А.Н., и Петров, И.И. «Современные технологии диагностики и мониторинга состояния кабельных линий» – Санкт-Петербург: Научно-техническое издательство, 2020.
2. Ковалев, В.И., и Сидоров, А.П. «Кабельные линии: проектирование, эксплуатация, надежность» – Екатеринбург: УралГТУ, 2019.
3. Морозов, Е.С. «Методы оценки надежности кабельных систем» – Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2021.
4. Алексеев, С.В., и Федоров, Д.Н. «Инновационные материалы для повышения надежности кабелей» – Москва: Наука, 2022.
5. Лисицын, А.В. «Кабельные линии: проблемы и решения» – Москва: Энергетика, 2016.
6. Захаров, Н.К. «Устойчивость кабельных систем к внешним воздействиям» – Москва: Высшая школа, 2020.
7. Соловьев, Р.М., и Кузнецов, В.Я. «Современные подходы к повышению надежности электросетей» – Ростов-на-Дону: ЮФУ, 2019.
8. Павлов, И.А. «Мониторинг и диагностика состояния кабельных линий» – Санкт-Петербург: СПбГЭТУ, 2021.

© Яикбаев Ш.Ф., 2024

СЕКЦИЯ 3.5. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ИНЖИНИРИНГ

УДК 621.34.07

Е.С. АГАПИТОВА

Agapitova_elizaveta@bk.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Т.А. ВОЛКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДЛЯ ПРИВОДА НАСОСА СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Аннотация: в данной работе рассмотрены конструкции электродвигателей переменного тока для привода насоса системы водоснабжения и их технические характеристики. Найдены актуальные примеры их производителей для использования их в производстве, сделаны выводы о текущей и дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: система водоснабжения, асинхронный двигатель, насос.

Введение

Одним из самых важных источников, который человек использует для поддержания жизни и деятельности в производстве, является вода и другие жидкости. Для их трансфера по трубопроводам применяют комплекс устройств, который состоит из соединенных насосов и приводящего трехфазного асинхронного двигателя. Одним из факторов низкой энергоэффективности переправления жидкости является применение в электроприводах комплекса насосных устройств асинхронных двигателей, потребляющих из электрической сети ток, а также, реактивную мощность индуктивного типа, которые понижают коэффициент мощности, электрический коэффициент полезного действия, и, исходя из этого, энергетический коэффициент полезного действия, который равен их перемножению. Далее в работе рассмотрены используемые существующие варианты асинхронных двигателей для системы водоснабжения с возможностью управления частотой вращения.

Двигатель асинхронный 5АДЧР200М4

Электромашинный концерн «Русэлпром» (Россия, г. Санкт-Петербург), производит асинхронные двигатели мощностью от 5,5 до 30 кВт [1].

Все двигатели серии 5АДЧР производятся с измерителями температурной защиты. Дополнительные функции: исполнение по климатическим условиям, исполнение по экспорту, нетипичный конец вала, низкая вибрация, неотечественные подшипники, местоположение коробки выводов – исходя из требований заказчика. На рисунке 1 представлен двигатель асинхронный 5АДЧР200М4.



Рис. 1. Двигатель асинхронный 5АДЧР200М4

Станина из алюминия и чугунные подшипниковые щиты гарантируют уменьшение веса и увеличение надежности конструкции. Коэффициент заполнения паза медью 0,85, высокий коэффициент полезного действия, небольшой нагрев активных составляющих электродвигателя. Развитая наружная ребристость станины дает возможность снизить рабочие температуры электродвигателя. Достоинством асинхронного двигателя 5АДЧР200М4 электромашиностроительного концерна «Русэлпром» является конструкция электродвигателя. В продолжительном режиме работы допускается оборотность вала в обе стороны. К минусам относится необходимость дополнительного подбора системы управления.

Двигатель асинхронный компании «ТехПривод»

Компания «ТехПривод» (Россия, г. Москва) производит асинхронные двигатели мощностью от 0,55 до 500 кВт с различными вариантами степеней защиты [2]. На рисунке 2 представлен габаритный чертеж двигателя асинхронного для насоса АИР112М4Ж2 компании «ТехПривод».

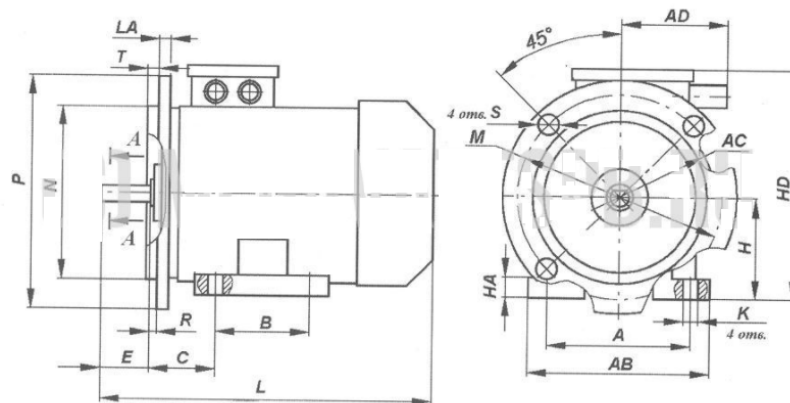


Рис. 2. Двигатель асинхронный компании «ТехПривод»

Трехфазные асинхронные двигатели с постоянным передаточным числом, которые отличаются от типовых электродвигателей вытянутым в длину валом. Электродвигатели для приведения в действие моноблочных насосов обладают одним удлиненным концом вала, необходимым для характера соединения рабочих колес насосов, и имеют три варианта по его структуре и размерам – Ж, Ж1 и Ж2. Особые валы таких электродвигателей также допускают воздействие радиальной и осевой нагрузок. Стандартные размеры и структуризация

электродвигателей для привода моноблочных насосов в основном одинакова с обычными, относящимися ко всей промышленности, асинхронными двигателями. Электродвигатели АИР160SF2НЖ, 5А160SA2НЖ, 5А160МА2НЖ производятся с малошумным исполнением.

Данный тип электродвигателя необходимо эксплуатировать под навесом, который будет защищать его от солнечного света и осадков. Также является годным к эксплуатации на высоте около одного километра над уровнем моря. Обладает возможностью выдерживать эксплуатацию в условиях запыленности не опасной для взрыва пылью около десяти граммов на кубический метр.

Асинхронный двигатель *ABLE MS160M2-2* 15кВт

Представлена конструкция зарубежного асинхронного двигателя *ABLE MS160M2-2* 15кВт для привода насоса [3].

Внешний вид асинхронного двигателя *ABLE MS160M2-2* 15кВт показан на рисунке 3.



*Рис. 3. Асинхронный двигатель *ABLE MS160M2-2* 15кВт*

Размеры изделия по его наружным границам и присоединительные размеры, которыми обладает электродвигатель, находятся в соответствии с общепринятым требованием *IEC*, что дает возможность взаимозаменять параметры двигателей практически со всеми похожими видами у других изготовителей. Электродвигатели такой серии являются малошумными и имеют низкие вибрации, это существенно влияет на легкость в эксплуатации оборудования и комфорт обслуживающих специалистов. Такой подход не только продлевает срок службы электродвигателей, но и положительно влияет на общую рентабельность проекта.

Проведен анализ современных конструкций электродвигателей переменного тока для привода насоса системы водоснабжения. Проведя сравнительный анализ двигателей переменного тока, наиболее удачным и технологичным следует считать асинхронный двигатель 5АДЧР200М4 компании «Русэлпром», так как данный тип двигателя подходит для центробежного насоса и имеет сравнительно простую конструкцию.

Заключение

Был проведен обзор современных конструкций электродвигателей переменного тока для привода насоса системы водоснабжения с возможностью управления частотой вращения. Работа является актуальной, так как в настоящее время в связи с увеличением производственных

мощностей требуется создать и поддерживать необходимые параметры напора воды.

Проведен анализ современных конструкций электродвигателей переменного тока для привода насоса системы водоснабжения. Проведя сравнительный анализ двигателей переменного тока, наиболее удачным и технологичным следует считать асинхронный двигатель 5АДЧР200М4 компании «Русэлпром», так как данный тип двигателя подходит для центробежного насоса и имеет сравнительно простую конструкцию.

Библиографический список

1. Центробежные насосы: область применения, принцип действия, устройство, недостатки, типы и характеристики [Электронный ресурс] //URL: <https://www.cnp-center.ru/articles/tsentrobeznyye-nasosy/printsip-deystviya-tsentrobezhnogo-nasosa/#:~:text=%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%20%D0%B4%D0%B5%D0%B9%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%B8%D1%8F%20%D1%86%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B5%D0%B6%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%B0&text=%D0%A1%D1%83%D1%82%D1%8C%20%D0%B7%D0%B0%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B0%D0%B5%D1%82%D1%81%D1%8F%20%D0%B2%20%D1%82%D0%BE%D0%BC%2C%20%D1%87%D1%82%D0%BE,%D0%B6%D0%B8%D0%B4%D0%BA%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%2C%20%D0%BA%D0%BE%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B0%D1%8F%20%D0%BF%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF%D0%B0%D0%B5%D1%82%20%D0%B8%D0%B7%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%BE%D1%81%D0%B0>. (дата обращения: 14.10.2023)
2. Электродвигатели АДЧР [Электронный ресурс] //URL:<https://podshipnik-td.ru/catalog/elektrodvigateli-generatory/elektrodvigateli-adchr-dlya-chrp/elektrodvigateli-adchr-dlya-chrp-200m4/> (дата обращения: 17.10.2023)
3. Электродвигатели АИР112М2У2 [Электронный ресурс] //URL:https://rutector.ru/products/4043300701-elektrodvigatel-air112m2u2-400690-50im2081-r_k_v_k31e-aaa-dlya-remeza (дата обращения: 17.10.2023)
4. Электродвигатель ABLE MS160M2-2 3Ф 15 кВт [Электронный ресурс] // URL:<https://www.xn----7sbfedebzbzdrkbi5bmwkezhiw8r1a.xn--p1ai/product/ms160m2-2/> (дата обращения: 17.10.2023)
5. Ефименко Е.И. Энергоэффективный двигатель переменного тока // Патент РФ № 95100248 [Электронный ресурс] // URL:<https://www.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=44b645e61d7ababe977e74e40a8c611f> (дата обращения 15.04.2021)

© Агапитова Е.С., 2024

УДК 621.313.333

А.Э. АХУНДЖАНОВ

markeloff159357@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Т.А. ВОЛКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ЛЕГКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА: ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация: в статье рассматривается применение асинхронных двигателей в легковых транспортных средствах. Описываются преимущества и недостатки использования таких двигателей по сравнению с традиционными двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Анализируются основные конструктивные особенности асинхронного двигателя, его эффективность и экономичность в условиях эксплуатации на дорогах общего пользования.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, электромобиль, энергоэффективность, экология, безопасность, конструкция двигателя.

Введение

Асинхронные двигатели являются одним из наиболее распространенных типов электрических машин, используемых в различных отраслях, включая легковой транспорт. Их применение в электромобилях и гибридных автомобилях привлекает внимание как производителей, так и потребителей. В данной статье мы рассмотрим особенности асинхронных двигателей, их преимущества и недостатки, а также примеры их использования в российских легковых автомобилях.

Основные характеристики асинхронных двигателей

Асинхронные двигатели получили свое название благодаря тому, что частота вращения ротора не совпадает с частотой вращения магнитного поля статора. Это позволяет добиться более плавной работы и высокой надежности устройства. Важными преимуществами асинхронного электродвигателя являются:

1. Простота конструкции. Отсутствие коллекторных щеток и других сложных механических элементов делает двигатель менее подверженным износу и поломкам.

2. Высокая надежность. Благодаря отсутствию трущихся частей, асинхронные моторы обладают длительным сроком службы без необходимости частого обслуживания.

3. Экономичность. Эффективное преобразование электрической энергии в механическую работу обеспечивает высокий КПД, особенно при работе на высоких оборотах.

4. Гибкость управления. Возможность изменения частоты вращения путем регулировки напряжения питания позволяет адаптировать двигатель под различные условия движения.

Однако у асинхронного мотора есть и свои недостатки. Например, сложность регулирования скорости на низких оборотах может привести к снижению эффективности при трогании с места и движении на малых скоростях.

Применение в легковой технике

Для использования асинхронных моторов в автомобилях необходимо учитывать ряд факторов, связанных с особенностями их работы и эксплуатационных характеристик. К ним относятся:

1. Мощность и крутящий момент. Для обеспечения достаточной динамики разгона и поддержания высокой скорости движения требуется высокая мощность двигателя. Современные разработки позволяют создавать мощные асинхронные агрегаты, способные конкурировать с традиционными ДВС.

2. Энергопотребление. Важно обеспечить оптимальное соотношение между мощностью двигателя и емкостью аккумуляторной батареи, чтобы гарантировать достаточный запас хода автомобиля.

3. Управление двигателем. Разработка эффективных систем управления, позволяющих плавно регулировать скорость и обеспечивать стабильность работы двигателя в различных режимах движения, играет ключевую роль в успешной интеграции асинхронных агрегатов в автомобили.

Примеры использования:

1. Автомобили марки «Лада»: в рамках программы по электрификации модельного ряда компания «АвтоВАЗ» рассматривает возможность использования асинхронных двигателей в своих электромобилях.

2. Электромобили «КамАЗ»: КамАЗ разрабатывает электрические модели с использованием асинхронных двигателей, что подтверждает их надежность и эффективность для грузовых и легковых автомобилей.

3. Проекты «ГАЗ»: группа ГАЗ активно исследует возможности применения асинхронных двигателей в своих новых моделях электромобилей.

4. Проект «Яндекс.Такси»: в рамках тестирования электромобилей для такси используются асинхронные двигатели, что подтверждает их эффективность для городских условий.

Экологические аспекты

Одним из главных преимуществ использования асинхронного двигателя в автомобиле является его экологическая чистота. Отказ от традиционного ДВС означает отсутствие выбросов углекислого газа и других вредных веществ непосредственно в окружающую среду. Однако стоит отметить, что общая экологическая оценка должна включать в себя анализ источников электроэнергии, используемой для зарядки аккумуляторов. Если энергия производится за счет экологически чистых источников (солнечные панели, ветряки), то автомобиль становится действительно "зеленым".

Перспективы развития

С учетом текущих трендов можно ожидать дальнейшее развитие технологий асинхронных двигателей и их активное внедрение в легковой транспорт. В частности, стоит обратить внимание на следующие направления:

1. Улучшение систем управления: Разработка более эффективных инверторов позволит повысить производительность АД.
2. Снижение веса и размеров: Исследования в области новых материалов могут привести к созданию более компактных и легких двигателей.
3. Повышение энергоэффективности: Оптимизация конструкции и использование современных технологий позволит снизить потери энергии.
4. Интеграция с альтернативными источниками энергии: Возможность комбинирования с солнечными панелями или другими источниками энергии может повысить автономность электромобилей.

Заключение

Применение асинхронного двигателя в легковом транспорте представляет собой перспективную альтернативу традиционным ДВС. Преимущества этого подхода включают высокую надежность, экономичность и экологическую чистоту. Тем не менее, для успешного внедрения таких технологий необходимы дальнейшие исследования и разработки в области повышения мощности и улучшения системы управления двигателем. В будущем можно ожидать значительного роста популярности электромобилей с асинхронными агрегатами как одного из основных средств передвижения.

Библиографический список

1. Электродвигатели переменного тока / Под ред. А.В. Иванова-Смоленского. – М.: Энергия, 1976.
2. Электрические машины / Л.А. Бессонов. – М.: Высшая школа, 1989.
3. Перспективы развития электротранспорта в России / И.И. Иванов. // Вестник машиностроения. – 2018. – №12. – С. 45–50.
4. Проблемы и перспективы использования асинхронных двигателей в автомобилестроении / П.П. Петров. // Автомобильная промышленность. – 2020. – №5. – С. 23–28.
5. Экологические аспекты использования электромобилей / Н.Н. Сидорова. // Экология и промышленность. – 2021. – №1. – С. 34–39.
6. АвтоВАЗ. (2023). *Новости компании*. Официальный сайт АвтоВАЗа (<https://www.avtovaz.ru/>).
7. КамАЗ. (2023). *Электробусы и электрические грузовики*. Официальный сайт КамАЗа (<https://www.kamaz.ru/>).
8. ГАЗ. (2023). *Перспективы развития электротранспорта*. Официальный сайт ГАЗа (<https://www.gaz.ru/>).
9. Яндекс. (2023). *Тестирование электромобилей для такси*. Официальный сайт Яндекса (<https://www.yandex.ru/>).

© Ахунджанов А.Э., 2024

УДК 62.526

Д.С. БОРОДИН

dborodin54@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Р. ФАРРАХОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ЭЛЕКТРОПРИВОД. ДОСТОИНСТВА, НЕДОСТАТКИ И СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ

Аннотация: в данной статье рассматривается электрический привод, его положительные и отрицательные стороны, а также способы улучшения системы.

Ключевые слова: сервопривод; серводвигатель; улучшение; недостатки; достоинства; влияние.

Человечество сталкивается с необходимостью разработки и внедрения более точного и быстрого оборудования для повышения производительности труда в условиях технологического прогресса.

Космическая, авиационная и другие промышленные отрасли нуждаются в замещение человеческого труда автоматизированными системами, которые обладают более высокой точностью и скоростью обработки, что может ускорить производство в разы.

Улучшение технологий приводит человека к созданию автономных станков, работающих без участия самого человека. Эти станки оснащены системами числового программного управления (ЧПУ), которые задают последовательность команд для выполнения технологических операций.

Большое внимание в таких системах уделяется приводам станков, отвечающим за реализацию технологических процессов обработки. Приводы обеспечивают точность, высокое качество и скорость обработки, что является ключевыми задачами современного производства.

В качестве приводов для станков с ЧПУ чаще используют электрические привода, одни более стабильны, имеют меньшие габариты, более эффективны и не дорогие в обслуживании в отличии от гидравлических и пневматических систем.

Электропривод представляет собой электромеханическую систему для обеспечения движения исполнительных механизмов. Он включает в себя электродвигатель, передаточный механизм и систему управления.

Электродвигатель – это устройство для трансформации электрической энергии в механическую и наоборот.

Механизм передачи энергии передаёт механическую энергию от электродвигателя к исполнительному устройству. Также он может изменять

скорость и крутящий момент. Система управления состоит из силового преобразователя, блока управления, задающего элемента и датчиков, которые обеспечивают обратную связь.

Электроприводы значительно улучшают и упрощают различные работы механизмов и систем. Они имеют высокую точность и повторяемость движений, что важно в автоматизированных производственных процессах. Благодаря возможности программирования и обратной связи, сервоприводы могут выполнять сложные задачи с минимальными ошибками. Они также обладают высоким крутящим моментом, что позволяет справляться с большими нагрузками и низким энергопотреблением. Они работают в широком диапазоне температур и в разных условиях окружающей среды, это расширяет их область применения.

Из-за всех перечисленных преимуществ сервоприводы и используют в автоматизации процессов, медицине, робототехнике.

Однако система управления имеет свои слабые стороны. Самые распространенные проблемы давайте рассмотрим:

– Провалы питания. При каких-либо изменении в напряжении входного переменного питания и мгновенной нагрузки происходят изменение выходного напряжения источников питания постоянного тока. Для решения этой проблемы нужно обеспечить усилителю источник питания, который сможет обеспечить ему хорошее, стабильное питание без перебоев.

– Синдром циклов нагрузки. В системах, где наблюдается значительный разброс нагрузок, не всегда удаётся точно оценить наихудшие показатели скорости вращения и крутящего момента. Это может привести к преждевременному выходу из строя полупроводниковых компонентов.

– Влияние помех на точность позиционирования. Шум, который создаёт электродвигатель постоянного тока, может негативно влиять на точность позиционирования выходного вала. Для решения этой проблемы необходимо установить экран вокруг электродвигателя и использовать фильтры для подавления шума.

– Нестабильность сервосистемы. Причиной могут быть: слишком высокий коэффициент усиления регулятора скорости вращения, применение устройств обратной связи с низким разрешением, наличие зазоров в механизме и механическое разделение нагрузки двигателя.

– Срыв ШИМ. Причиной этого может стать недостаток питания или несогласованность работы таймеров, это приводит к нестабильной работе сервопривода.

Улучшать работу электроприводов, так же важно, как и устранять недостатки в нем, потому что это может привести к улучшению точности, эффективности и к более быстрой работе механизмов.

На данный момент улучшить работу этих систем можно следующими способами:

– Настройка параметров ПИД-регулятора. Хорошая настройка позволяет найти баланс между скоростью вращения, точностью позиционирования и стабильностью работы системы.

– Оптимизация других параметров. К таким параметрам относятся усиление и скорость отклика привода.

– Применение программного обеспечения для оптимизации. Были разработаны программы, которые помогают правильно настроить привод с помощью нейронной сети или генетических алгоритмов.

– Использование более точных датчиков положения. Более точные, как ни странно, передают более точные показания, за счет которых и управляется привод, тем самым увеличивая точность обработки или других операций.

– Резервирование ключевых компонентов. Данный метод направлен на аварийный режим работы приводов. В нем какой-либо выходящий из строя датчик тут же заменяется на такой же резервный, тем самым, не допуская остановки технологического процесса.

В электрических приводах не мало не линейных параметров, которые могут повлиять на точность, они зависят от величины тока и внешних факторов. Но учет этих нелинейностей значительно усложняет процесс вычисления.

Один из методов учета нелинейностей в приводах называется методом параметрической идентификации. Он базируется на методе наименьших квадратов.

Исходя из проделанной работы можем сказать, что электрические приводы обладают высокой точностью, скоростью надежностью и экономичностью. Также эта система имеет потенциал в дальнейшем улучшении. Именно поэтому они применяются на современных высокотехнологичных производствах.

Библиографический список

1. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода / Чиликин М.Г., Сандлер А.С. – 6-е изд., доп. и перераб.. – Москва: Энергоиздат, 1981, 576 с.

2. Богданов Н.А., Томилов А.В. Пути возможного уменьшения помех и их влияния на точность позиционирования на примере сервопривода MG996R // Форум молодых ученых. 2017. №4 (8). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-vozmozhnogo-umensheniya-pomeh-i-ih-vliyaniya-na-tochnost-pozitsionirovaniya-na-primere-servoprivoda-mg996r> (дата обращения: 19.11.2024).

3. Орловска-ковальска Т., Ловлин С.Ю., Цветкова М.Х., Абдуллин А.А., Маматов А.Г. Параметрическая идентификация модели сервопривода с нелинейностями типа „мертвое время“ // Приборостроение. 2019. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametricheskaya-identifikatsiya-modeli-servoprivoda-s-nelineynostyami-tipa-mertvovoe-vremya> (дата обращения: 19.11.2024).

4. Королёв Герман Валерьевич Разработка и исследование системы управления сервоприводом с компенсацией нелинейностей: специальность 27.04.04 «Управление в технических системах»: автореферат на соискание кандидата технических наук / Королёв Герман Валерьевич; Комсомольский-на-Амуре государственный университет. – Комсомольск-на-Амуре, 2022.– 6 с.

5. Лань Н.В., Белов А.М. Синтез нелинейного прогнозирующего управления вентильным электроприводом оптико-механических комплексов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2022. Т. 15, № 1, с. 63–72. doi: 10.32603/2071-8985-2022-15-1-63-72.

6. Коробейников И.С., Вырыханов Д.А., Митяев М.В. Повышение надежности сервоприводов беспилотных летательных аппаратов за счет оптимизации режима работы. Надежность. 2022;22(4):16-22. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2022-22-4-16-22>.

© Бородин Д.С., 2024

УДК 621.313.04

А.А. БУРХАНОВ

burhanov140802@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Ю.ПАШАЛИ**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ШКОЛЬНЫХ ОБУЧАЮЩИХ СТЕНДОВ

Аннотация: проведен анализ современных конструкций школьных обучающих стендов, рассмотрены их типы, преимущества и недостатки, области применения.

Ключевые слова: электродвигатель, коллекторный двигатель постоянного тока, школьный обучающий стенд, конструкция.

Школьные обучающие стенды (ШОС) стали неотъемлемой частью современного образовательного процесса.

Научная работа выполнена в рамках программы «Обучение служением».

Стенд разрабатывается для использования в обучающем процессе ГБОУ «Уфимская коррекционная школа-интернат № 13 для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата». Существует множество конструкций ШОС по электромагнетизму, которые различаются по своей конструкции и назначению. Авторами рассмотрены основные типа ШОС, их преимущества и недостатки, области применения.

Известна конструкция ШОС с простым электродвигателем постоянного тока [1], которая позволяет демонстрировать принцип работы простого электродвигателя постоянного тока (*DC*-мотор) на основе взаимодействия электрического тока с магнитным полем. ШОС помогает изучить, как электромагнитные силы преобразуют электрическую энергию в механическую.

ШОС имеет основные компоненты: постоянный магнит, катушку (ротор), коммутатор (коллектор), две угольные или металлические щетки, источник постоянного тока, корпус, кнопку включения/выключения. А также на ШОС размещена схема работы двигателя и поясняющие подписи к каждому элементу.

Известна конструкция ШОС с шаговым двигателем [2], которая позволяет демонстрировать принцип работы шагового двигателя, который преобразует электрические импульсы в дискретные механические шаги. Это позволяет изучить основы электромагнетизма и принципы управления электрическими двигателями. ШОС имеет основные компоненты: шаговый двигатель, который содержит статор, ротор, источник питания и контроллер, переключатель направления вращения, измерительные приборы, прочное основание с креплениями.

Известна конструкция ШОС с синхронным двигателем [3], которая позволяет демонстрировать принцип работы синхронного двигателя, изучить принципы электромагнетизма, связанных с взаимодействием переменного тока и магнитного поля, а также объяснить синхронное вращения ротора и статора в двигателе. С помощью этого стенда учащиеся смогут понять, как электрическая энергия переменного тока преобразуется в механическое вращение. ШОС имеет основные компоненты такие как: синхронный двигатель, который состоит из статора и ротора, источник питания переменного тока, частотный преобразователь, измерительные приборы, механическую нагрузку, систему управления и переключатели.

Известна конструкция ШОС с бесколлекторным двигателем (*BLDC*) [4]: данная конструкция позволяет демонстрировать принцип работы *BLDC*, его устройства, принципов работы и управления. ШОС помогает учащимся понять, как работают современные двигатели без щеток и коллектора, как управляется вращение ротора с помощью электронных схем, а также основы электромагнетизма и взаимодействия магнитных полей. ШОС имеет основные такие как: двигатель, контроллер (электронный блок управления), датчики Холла, источник постоянного тока, переключатели и элементы управления, измерительные приборы.

Известна конструкция стенда с асинхронным однофазным двигателем [5], которая позволяет демонстрировать принцип работы асинхронного однофазного двигателя, его устройства, принципов действия и взаимодействия электромагнитных полей. С помощью этого ШОС учащиеся могут изучить процессы, связанные с преобразованием электрической энергии в механическую, а также понять основы работы электрических машин и особенности асинхронных двигателей. ШОС включает: асинхронный однофазный двигатель (статор содержит основную и пусковую обмотки), ротор выполненный в виде короткозамкнутой «беличьей клетки», конденсатор, источник переменного тока, измерительные приборы, систему управления, механическую нагрузку.

Авторами разработана конструкция ШОС, содержащая коллекторный двигатель постоянного тока (или *DC*-мотор) – это электродвигатель, в котором питание на якорь и обмотку возбуждения подаётся через щёточно-коллекторный узел. Такой тип двигателей широко используется в обучающих целях, так как он наглядно демонстрирует принципы работы и позволяет легко исследовать процессы преобразования электрической энергии в механическую. Внешний вид ШОС представлен на рисунке 1.

ШОС могут включать различные элементы для повышения наглядности и обучающей ценности: геймификацию, визуализация **конструктивных элементов, возможность регулировки напряжения, измерительные приборы, демонстрация обратной связи, наглядные эксперименты и др.**

Проведен анализ современных конструкций ШОС, за прототип разработки выбран стенд с коллекторным двигателем постоянного тока, так как он даёт возможность продемонстрировать базовые принципы электротехники и работы двигателей. Простота конструкции, наглядность и возможность проведения различных экспериментов делают его незаменимым для образовательных целей.



Рис. 1. Внешний вид стенда, содержащий коллекторный двигатель постоянного тока

Библиографический список

1. Инфоурок [Электронный ресурс] URL: <https://infourok.ru/proektnaya-rabota-na-temu-razrabotka-i-izgotovlenie-uchebnyh-stendov-5682826.html> (дата обращения 02.10.2024).
2. Современный физический практикум в техническом вузе [Электронный ресурс] URL: <https://mpw.moomfo.ru/sites/default/files/ТрудыВолгоград%202006.pdf#page=39> (дата обращения 03.11.2024).
3. Юные изобретатели – миру техники [Электронный ресурс] URL: https://center-tvorchestva.ru/files/events/from_idea/08.pdf (дата обращения 02.10.2024).

4...Экспериментальный стенд для исследования мощности бесколлекторного двигателя [Электронный ресурс] URL: <https://clck.ru/3EgSBf> (дата обращения 04.11.2024).

5. Мобильный учебный лабораторный стенд для изучения электрических машин и электроприводов [Электронный ресурс] URL: https://www.elibrary.ru/ip_restricted.asp?rpage=https%3A%2F%2Fwww%2Eelibrary%2Eru%2Fitem%2Easp%3Fid%3D37515093 (дата обращения 11.11.2024).

© Бурханов А.А., 2024

УДК 621.311.001.24

А.Р. ГАЛИЕВ

freizer-anton@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.С. ГОРБУНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

МНОГОФАЗНЫЕ АВТОТРАНСФОРМАТОРЫ ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация: в статье рассмотрены многофазные автотрансформаторы для авиационных систем электроснабжения

Ключевые слова: автотрансформатор, многофазные трансформаторы, система электроснабжения.

В настоящее время авиационная промышленность находится в постоянном поиске новых технологий и методов, способных улучшить эффективность и надежность систем электроснабжения самолетов. Одной из ключевых составляющих таких систем являются многофазные автотрансформаторы, которые используются для преобразования переменного тока в постоянный на авиационных бортах [1].

Современные самолеты, совместимые с трендом более электрических самолетов (MEA), основные системы обработки электричества в области их динамического развития, оснащены передовой бортовой автономной системой питания ASE [2]. Эта система состоит из двух ключевых энергетических систем: электрической системы питания EPS, основные элементы которой являются генераторы, интегрированные сборки в виде стартера/генератора, батареи, топливные элементы и т.д., а также электроэнергетической системы питания PES. Основные компоненты системы PES включают в себя в первую очередь многопульсовые выпрямители, такие как 12-пульсовые и 24-пульсовые, включая 48-пульсовые и даже 60-пульсовые выпрямители.

В [3,4] было рассмотрено моделирование 24-пульсного ТВУ (Рисунок 1). В 24-пульсовом TRU используются четыре Z/Y трансформатора ввода 50V/200V 400 Гц. Второй набор первичных обмоток соединены крестообразно для создания необходимого сдвига фазы. Значение интерфазного индуктора

выбрано таким образом, чтобы ограничить пульсации выходного тока до 10% от его номинального значения.

Это значение составляет 136.7 мкГн для 12-пульсового TRU и 68.35 мкГн для 24-пульсового TRU.

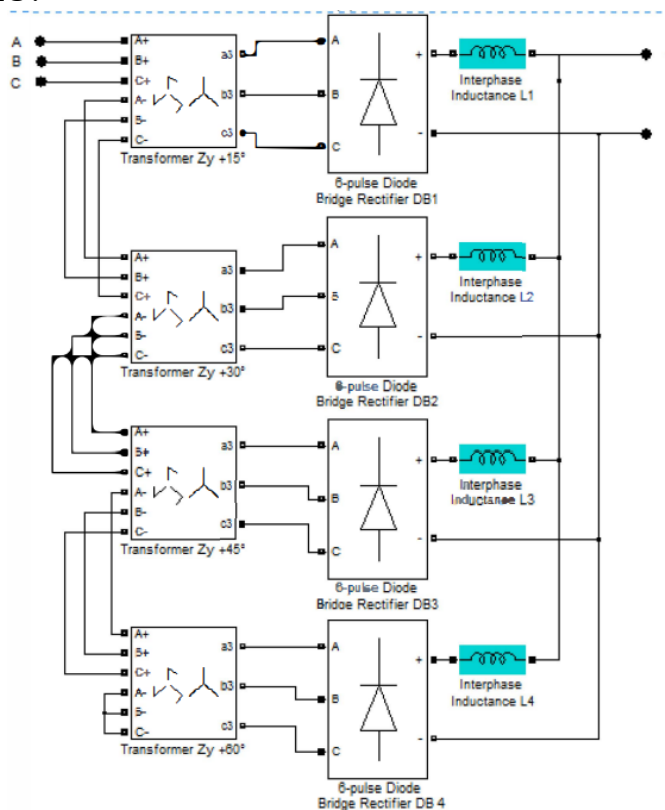


Рис. 1. Модель 24-пульсового ТВУ

Содержание гармоник 24-пульсного трансформатора увеличивается с нагрузкой, как показано на Рисунке 2. Максимальное значение коэффициента общего искажения (THD) (3.67%) достигается при полной нагрузке.

Load (%)	THDI (%)	I_{23} ($I_1\%$)	I_{25} ($I_1\%$)
50%	2.43	1.81	1.45
60%	2.79	2.13	1.67
70%	3.07	2.36	1.85
80%	3.32	2.56	2.00
90%	3.50	2.71	2.11
100%	3.67	2.84	2.21

Рис. 2. Гармоники тока сети 24-пульсового ТВУ

Основываясь на приведённой выше математической модели, были составлены имитационные модели 24-пульсного трансформаторно-выпрямительного устройства в программе Simulink (Рисунок 3).

Были получены осциллограммы: выходное напряжение трансформатора между фазами А и В (Рисунок 4), выходных напряжений первого и второго моста (Рисунки 5,6) в соответствии с Рисунком 1, напряжения нагрузки, тока

нагрузки. Был проведён гармонический анализ выпрямленного напряжения и потребляемого тока.

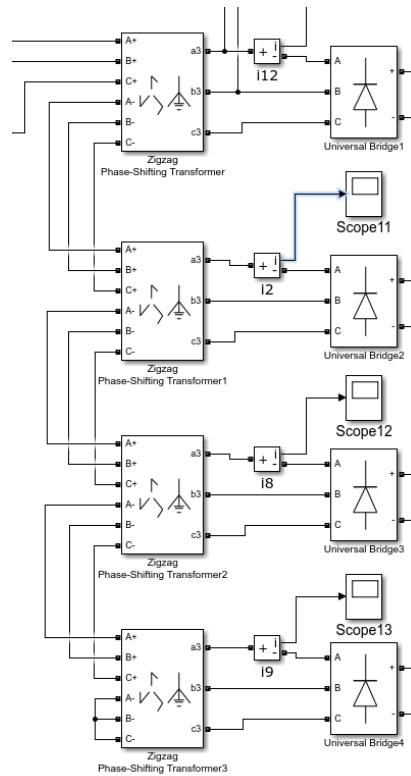


Рис. 3. Многофазный автотрансформатор в составе 24-пульсного ТВУ

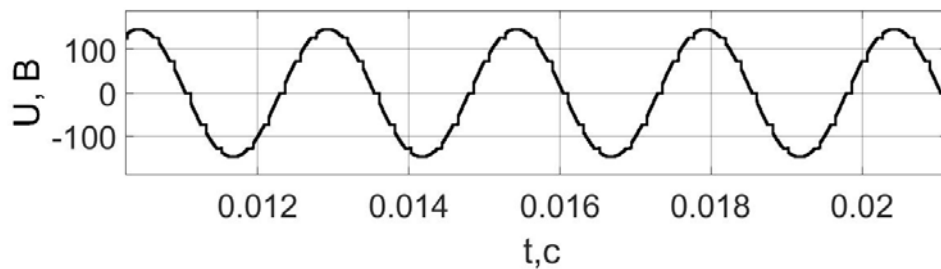


Рис. 4. Выходное напряжение фазопреобразующего трансформатора между фазами А и В

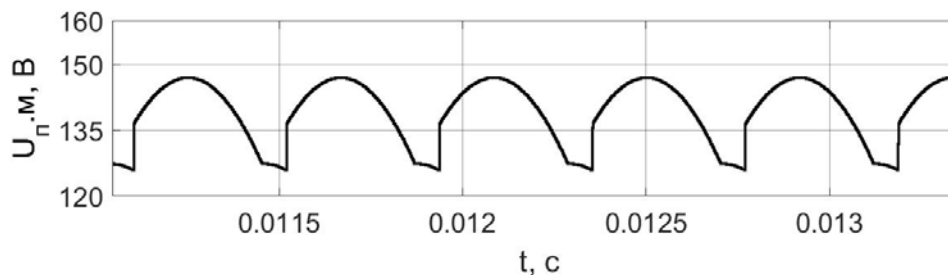


Рис. 5. Выходное напряжение первого моста трансформаторно-выпрямительного устройства

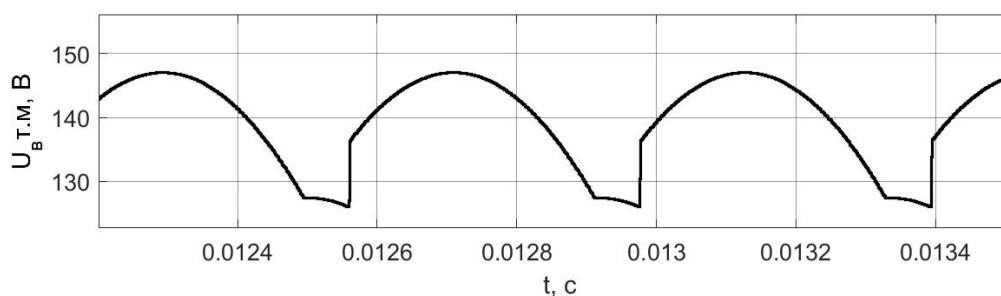


Рис. 6. Выходное напряжение второго моста трансформаторно-выпрямительного устройства

Также в Таблице 1 представлена зависимость между нагрузкой (Load) и коэффициентом нелинейных искажений (THDI). Данный коэффициент равен отношению среднеквадратичного значения суммы высших гармоник потребляемого тока к току первой гармонике при воздействии на вход трансформатора синусоидального напряжения. На Рисунке 7 представлен гармонический анализ, выполненный в блоке powergui (Matlab Simulink), где видно, что коэффициент THDI при нагрузке в 50%.

Таблица 1

Гармонический анализ 24-пульсного ТВУ (FFT Analysis)

Load (%)	THDI (%)	I_{23}	I_{25}
50%	1,62	1,23	0,95
60%	1,92	1,46	1,14
70%	2,23	1,69	1,32
80%	2,5	1,89	1,5
90%	2,75	2,07	1,67
100%	2,96	2,23	1,82

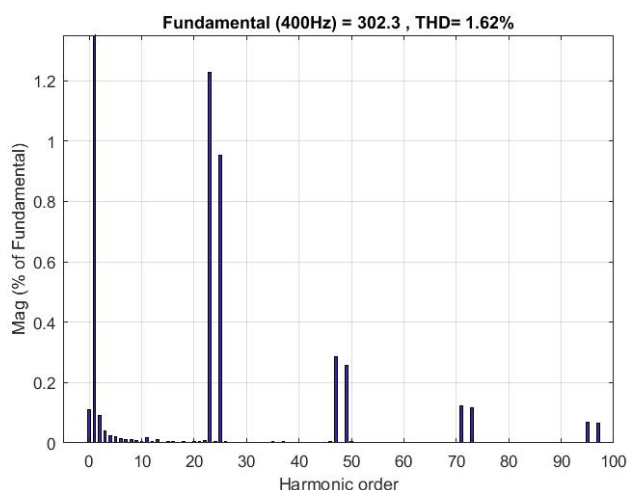


Рис. 7. FFT Analysis при Load = 50%

В результате исследований, при нагрузке равной 100% (75 кВт), коэффициент THDI составляет 2,96%, что означает малую сумму токов высших гармоник по отношению к току первой гармонике, следовательно,

потребляемый ток близок к синусоиде. Высшие гармоники потребляемых токов с номерами 23 и 25 составляют 2,23% и 1,82% соответственно.

Библиографический список

1. Фазопреобразующие трансформаторы для улучшения электромагнитной совместимости преобразовательных устройств с сетью и нагрузкой: монография [Электронный ресурс] / Уфимск. гос. авиац. техн.ун-т. – Уфа : УГАТУ, 2022.

2. Setlak, Lucjan; Kowalik, Rafal (2018). [IEEE 2018 International Symposium on Electrical Machines (SME) - Andrychów, Poland (2018.6.10-2018.6.13)] 2018 International Symposium on Electrical Machines (SME) - Study of the 36-Pulse Rectifier in the Aspect of Using it in the On-Board Energo-Electronic Power System of Aircraft in Line with the Concept of More Electric Aircraft, 1–6.

3. Monroy, Alvaro Ortiz; Hoang Le-Huy; Lavoie, Claude (2012). [IEEE 2012 Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion (ESARS) - Bologna, Italy (2012.10.16-2012.10.18)] 2012 Electrical Systems for Aircraft, Railway and Ship Propulsion - Modeling and simulation of a 24-pulse Transformer Rectifier Unit for more electric aircraft power system., 1–5.

4. Bhosale Aishwarya C; Sangita B. Patil; (2021). AC/DC Hybrid Electric Power Generation System for More Electric Aircraft by using Prototype Model. 2021 6th International Conference for Convergence in Technology (I2CT).

© Галиев А.Р., 2024

УДК 321.311.001.57

А.Ю. ЗАВАРЗИН

Raw.01@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук **З.Г. ГАБИДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

Аннотация: в статье проведен обзор различных видов прикладных программ, позволяющих заниматься моделированием систем электроснабжения; собрана и проверена на адекватность работы модель системы передачи постоянного тока с двумя терминалами VSC-HVDC; исследованы различные варианты управления двухтерминальной системой VSC-HVDC в MATLAB.

Ключевые слова: электроснабжение; интеллектуальные системы, трансформатор, ЛЭП, терминалы VSC-HVDC.

В современном мире актуальность применения устройств и технологий на основе силовых полупроводниковых ключей становится все более значимой. Силовые полупроводниковые ключи, такие как транзисторы MOSFET, IGBT и диоды, обладают высокой эффективностью, быстротой переключения и надежностью, что делает их неотъемлемой частью современной электроники и электротехники. Применение этих устройств позволяет существенно повысить энергоэффективность систем управления, улучшить качество электропитания, повысить производительность, надежность и безопасность современных электротехнических систем.

Один из основных путей развития и улучшения современных систем электроэнергетики заключается в применении устройств и технологий на основе силовых полупроводниковых ключей (HVDC - технологии постоянного тока высокого напряжения), которые способствуют улучшению управляемости и пропускной способности сетей, а также обеспечивают надежность передачи электроэнергии. Основное внимание уделяется работе HVDC благодаря возможности эффективного управления преобразователями источника напряжения (VSC).

В статье приведены результаты моделирования в MATLAB/Simulink различных терминалов VSC-HVDC; исследование конфигурации с применением различных схем управления позволяет получить важную информацию о работе системы VSC-HVDC. Модель изображена на рисунке 1, поток энергии установился и направлен слева направо. Преобразователь на левой стороне HVDC работает как выпрямитель, в то время как преобразователь на правой стороне действует как инвертор.

Существуют три варианта внешнего контура управления активной энергией: управление активной мощностью, управление постоянным напряжением и управление уровнем постоянного тока. Это означает, что для двухтерминальной системы VSC-HVDC существует 9 возможных вариантов управления.

Терминал VSC-HVDC, соединенный с переменной электросетью, может рассматриваться как виртуальный синхронный генератор, так как передача энергии в переменную сеть полностью контролируема, что облегчает использование управления частотой.

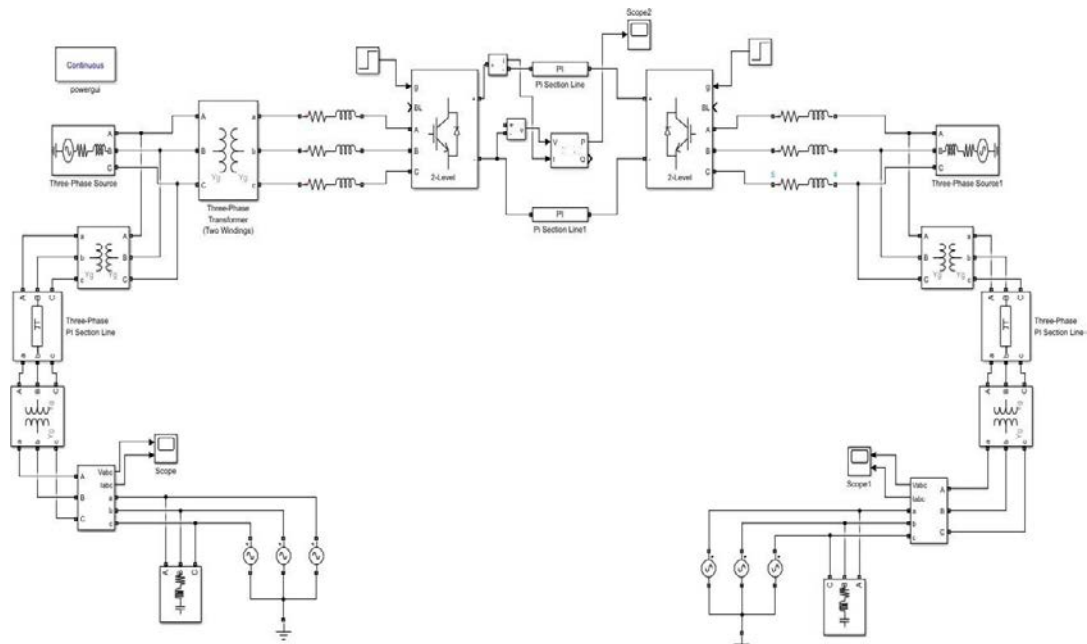


Рис. 1. Система передачи постоянного тока с двумя терминалами VSC-HVDC

Терминал VSC-HVDC имеет следующие параметры:

- номинальное напряжение постоянного тока – 800 кВ;
- номинальная мощность – 1000 МВт
- установившийся поток мощности по линии – 800 МВт;
- длина линии передачи – 1000 км;
- номинальное напряжение переменного тока – 400 кВ.

Также приняты параметры фильтров для будущего расчета, метод которого указан в [12]:

- номинальное напряжение постоянного тока – 800 кВ;
- мощность – 1000 МВт
- длина линии передачи – 1000 км;
- номинальное напряжение переменного тока – 400 кВ;
- частота – 50 Гц;
- частота переключения – 10 кГц;
- резонансная частота: $f = 10 \text{ кГц} / 10 = 1000 \text{ Гц}$;
- фазное напряжение – 230 В.

Параметры фильтра выпрямителя, использовавшиеся при моделировании:

- индуктивность – 5 мГн;
- сопротивление – 0,05 Ом;
- емкость – 1 мкФ;
- $R_C = 0,001 \text{ Ом}$.

Параметры фильтра инвертора, использовавшиеся при моделировании:

- индуктивность – 50 мГн;
- сопротивление – 0,1 Ом;
- емкость – 1 мкФ;
- $R_C = 0,001 \text{ Ом}$.

Ток сети, А:

$$I_g = \frac{P}{3V_{L-N}}.$$

Минимальное значение индуктивности фильтра, мГн:

$$L_{\min} = \frac{1}{2\pi f_{sw} V_{g(sw)} \frac{I_g}{V_{g(sw)}} \left(1 - \frac{f_{sw}^2}{f_{ref}^2}\right)}.$$

Максимальное значение индуктивности фильтра, мГн:

$$L_{\max} = \frac{0,2V_{L-N}}{2\pi f I_g}.$$

Емкость конденсатора фильтра, мкФ:

$$C = \frac{0,05P}{2\pi f V_{L-N}^2}.$$

Контур управления напряжением:

- коэффициент передачи П-И-составляющей:

$$k_p = \frac{3C}{T};$$

$$k_i = \frac{3R_c}{T};$$

- расчетное экономическое сечение ЛЭП:

$$F_{\text{э}} = \frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{э}}},$$

где $I_{\text{э}}$ – экономическая плотность алюминиевого провода, А/мм².

Ближайший по сечению провод марки АС- 1250/101,8, где электрическое сопротивление 1 км, провод постоянного тока = 0,023 Ом. Тогда, сопротивление линии передачи постоянного тока: $R_{\text{л}} = 1000 \cdot 0,023 = 23$ Ом.

С помощью модели было проведено сравнение характеристик при трех разных конфигурациях управления:

1. Регулятор напряжения и преобразователь выполняют функции уменьшения постоянного напряжения и стабилизации постоянного напряжения соответственно. Изменение мощности достигается путем изменения уровня базовой мощности для выпрямителя. Передаваемая мощность составляет около 100 МВт, и возникают сложности в управлении потоком мощности через выпрямитель из-за активного взаимодействия с сетью.

2. Инвертор и выпрямитель работают на стабилизацию напряжения постоянного тока и управление постоянной мощностью соответственно. Для изменения потока мощности требуется только один шаг, который достигается путем изменения мощности в инверторе. Напряжение на шине выпрямителя быстро восстанавливается, а поток мощности в инверторе увеличивается до 1000 МВт.

3. Выпрямитель и инвертор должны работать в режиме управления снижением постоянного напряжения. В этой конфигурации простое изменение базовой мощности инвертора само по себе не приводит к необходимому изменению потока мощности. Это отражается увеличением потока

мощности с 800 МВт до приблизительно 900 МВт. Таким образом, для достижения желаемого уровня потока мощности требуется дополнительное

управление.

На рисунках 2-4 представлены выходные параметры при конфигурации управления по варианту 3.

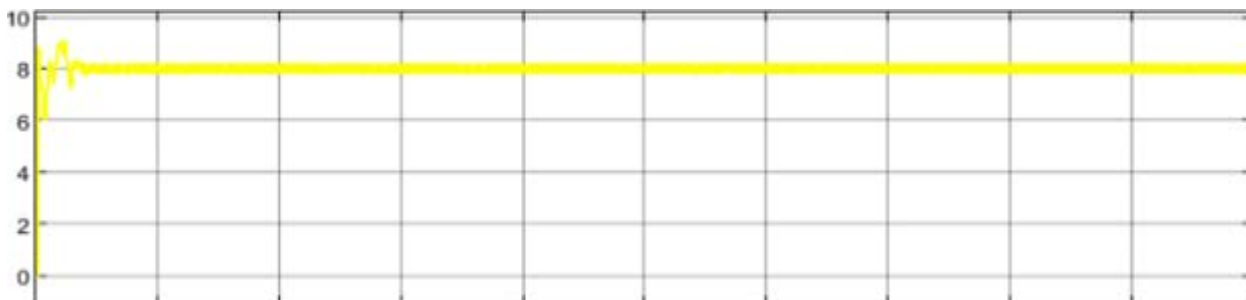


Рис. 2. Напряжение на выпрямителе



Рис. 3. Напряжение на инверторе

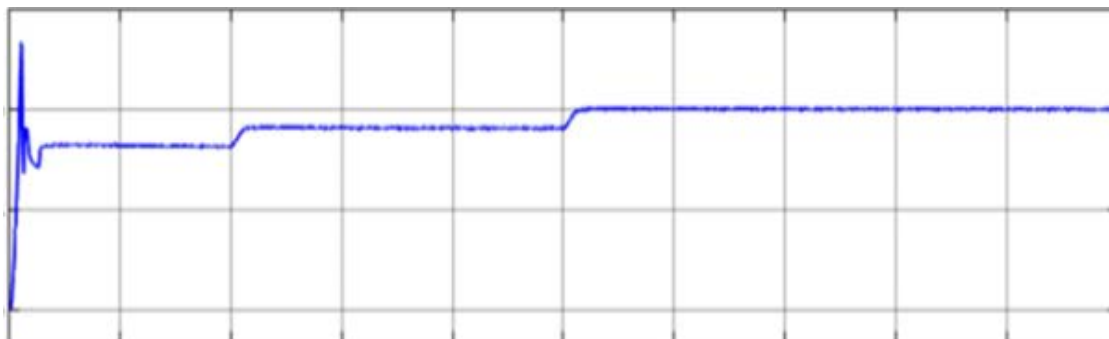


Рис. 4. Мощность

При увеличении нагрузки в одной из сетей переменного тока происходит снижение частоты переменного тока, что приводит к увеличению генерации в этой сети. При наличии системы стабилизации частоты в контроллерах преобразователя происходит передача дополнительной мощности от постоянного тока, что способствует улучшению частотных характеристик (рис. 5, рис. 6).

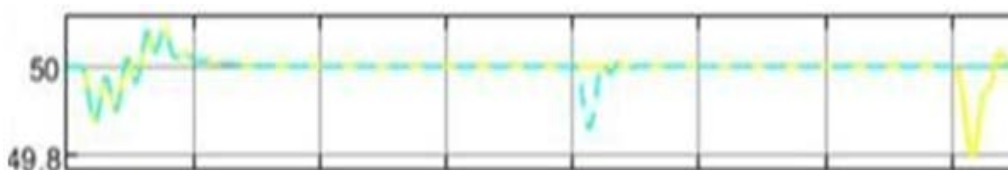


Рис. 5. График частотных характеристик без управления стабилизацией частоты

Применение управления стабилизацией частоты для двух терминалов VSC- HVDC приводит к улучшению частотных характеристик обеих сетей переменного тока.

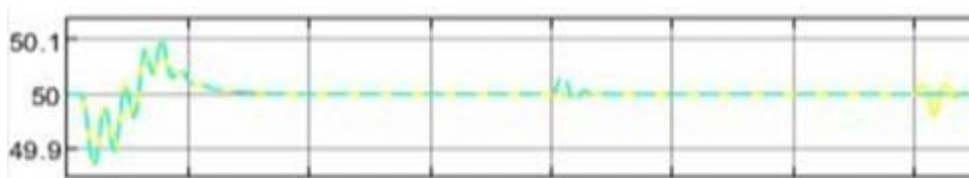


Рис. 6. График частотных характеристик с управлением стабилизацией частоты

Модель продолжает совершенствоваться и уточняться путем включения в нее новых функциональных блоков и оптимизацию работы уже существующих блоков.

Библиографический список

1. Законшек, Я. Моделирование электроэнергетических систем в реальном времени. Журнал Энергия. Единой сети., 2018, 4(40), 63–70 [Zakonshek Ya. Modeling of electric power systems in real time, J. Energy. Unified network., 2018, 4(40), 63–70 (in Rus.)].

2. Беляков, В.Е. Система автоматизированного моделирования ветроэнергетических установок / сборник научных статей 3-й Международной молодежной научной конференции: в 2-х томах, 2014. – С. 391–395.

3. ГОСТ 30804.4.30. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электроэнергии. – М.: Стандартинформ, 2014. – 57 с.

4. Антонов, А.И. Анализ проведения испытаний на соответствие установившегося отклонения напряжения требованиям ГОСТ 54149-2010 [Текст] / А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, А.С. Никишкин // Научные проблемы Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 4. – с. 210–213.

5. Дьяконов, В.П., Пеньков А.А. MATLAB и Simulink в электроэнергетике. Справочник. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 816 с.

6. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Взамен ГОСТ 13109-97; введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 20 с.

7. Обухов С.Г., Плотников И.А. Экспериментальные исследования дизель-генераторной установки на переменной частоте вращения // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326, № 6.

8. Фадеева Г.А., Федин В.Т. Проектирование распределительных электрических сетей: учеб. пособие. – Минск: Высш. шк., 2009. – 365 с.

9. Zhang X., Li M., Guo Z. Review and Perspectives on Control Strategies for Renewable Energy Grid-connected Inverters. J. Global Energy Interconnection., 2021, 4(5), 506–515.

10. Расчет источников электропитания устройств связи: Учебное пособие для вузов / В.Е. Китаев, А.А. Бокунякв, М.Ф. Колканов; под ред. А.А. Бокуняева – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.

11. Семёнов В.Д. Основы преобразовательной техники: учебное пособие / В.Д. Семёнов, В.С. Мишуров. – Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2001. –132 с.

12. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / Под ред. В.И. Круповича и др. – М.: Энергоиздат, 1981.

13. Кобзев А.В. Модуляционные источники питания РЭА / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, Н.М. Музыченко. — Томск: Радио и связь, 1990. – 366 с.

© Заварзин А.Ю., 2024

УДК 621.31

Н.С. КОЛИНИЧЕНКО, Д.Ф. НОРКИН

kolinichenko01@inbox.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.В. ЛОБАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Аннотация: в данной статье приводится обзор резервных источников питания, которые обеспечивают бесперебойную подачу электроэнергии при отключении основного источника. Описываются различные виды резервных источников, такие как бензиновые и дизельные генераторы, а также источники бесперебойного питания (ИБП). Также анализируются достоинства и недостатки каждого типа резервного источника питания.

Ключевые слова: резервные источники питания, дизельный генератор, бензиновый генератор, источник бесперебойного питания.

Цель статьи — провести обзор различных типов резервных источников питания, а также, их особенности, преимущества и недостатки, рассмотреть схемы подключения и дать рекомендации по выбору оптимального варианта для обеспечения стабильного электроснабжения критически важных объектов и оборудования.

Резервное электроснабжение – это система, которая обеспечивает бесперебойную подачу электроэнергии при отключении основного источника. Она служит «запасным вариантом», гарантируя работу устройств и оборудования в случае сбоев в электросети.

Резервные источники питания необходимы для стабильного функционирования критически важного оборудования при перебоях с подачей электроэнергии или её полном отсутствии. Это особенно актуально для объектов с техникой, требующей постоянного электропитания, такой как отопительные котлы, холодильники, водяные насосы и системы безопасности.

Массово используют три вида резервных источников:

- 1) бензиновые генераторы;
- 2) дизельные генераторы;
- 3) источники бесперебойного питания.

Каждый источник обладает особенностями и в сравнении с другими имеет преимущества и недостатки.

Далее мы рассмотрим каждый вид резервного питания отдельно.

Бензиновые генераторы — мощные и надёжные источники электроэнергии. Их мощность варьируется от 2 до 6 кВт. Они эффективны, но требуют больших затрат на топливо. Преимущества генераторов: морозоустойчивость, низкий уровень шума, компактность и лёгкость транспортировки. В помещении их можно использовать только с хорошей вентиляцией.

Дизельные генераторы — мощные и экономичные источники электроэнергии. Они идеальны для домов и предприятий с высоким энергопотреблением. Благодаря своей надёжности, дизельные генераторы могут работать непрерывно длительное время. Доступны в разных мощностях для любых нужд.

Бензиновые и дизельные генераторы, применяемые в качестве резервных источников питания, обычно подключаются по схеме, изображенной на рисунке 1. Схема обеспечивает работу как от центральной электросети, так и от генератора. Переход между двумя источниками питания может осуществляться вручную или автоматически, с использованием специальных коммутирующих устройств [1].

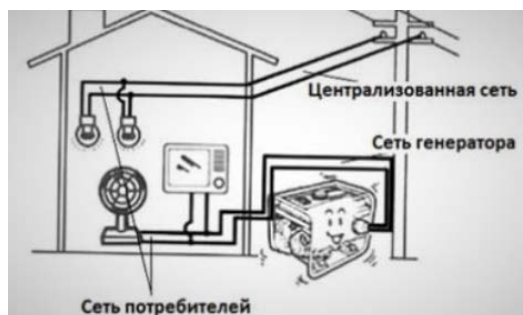


Рис. 1. Схема подключения генератора для резервного питания

В качестве резервного источника питания часто используют источники бесперебойного питания (ИБП). Существует три основных типа ИБП: резервные, линейно-интерактивные и онлайн (с двойным преобразованием). Каждый из этих типов имеет свои особенности в конструкции, работе и технических характеристиках [2].

Резервные ИБП (оффлайн) работают как обычный сетевой фильтр, в случае нормального функционирования внешней сети. Они пропускают электроэнергию к нагрузке напрямую, без преобразования. Однако, если напряжение в сети падает ниже допустимого предела или вовсе пропадает, резервный ИБП автоматически переключается на питание от аккумулятора, обеспечивая бесперебойную работу подключенных устройств.

Резервные ИБП (оффлайн) работают по схеме, изображенной на рисунке 2. Они доступны по цене, но имеют недостатки, ограничивающие их использование: кратковременный перерыв в подаче электроэнергии (5 мс), отсутствие стабилизации напряжения и частоты, частые переключения на аккумулятор, неидеальная синусоида выходного напряжения, низкая защита от помех.

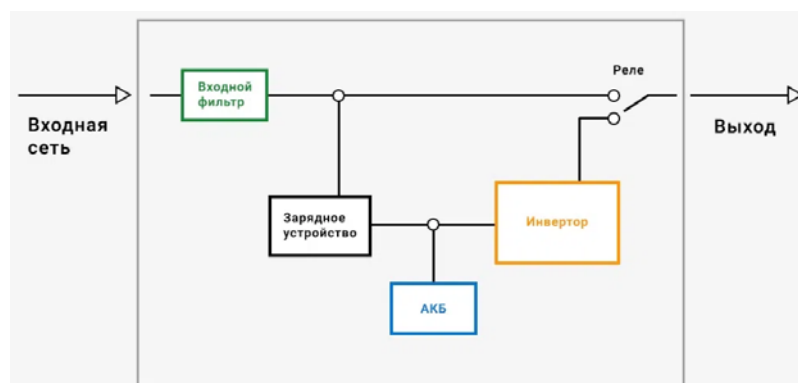


Рис. 2. Схема подключения резервных ИБП

В связи с этими недостатками, резервные ИБП рекомендуется использовать для защиты от кратковременных перебоев питания, не требующих высокой точности выходного напряжения и частоты, а также для устройств, которые не чувствительны к перерывам в подаче электроэнергии.

Линейно-интерактивные ИБП — усовершенствованный вариант резервных ИБП. Работают по принципу «прямого прохождения» электроэнергии, сглаживают колебания напряжения и предотвращают переключения на аккумулятор (рисунок 3). Есть два типа линейно-интерактивных ИБП: с аппроксимированной синусоидой и с полностью синусоидальным выходным напряжением. Первый вариант дешевле, второй — дороже, но подходит для всех устройств.

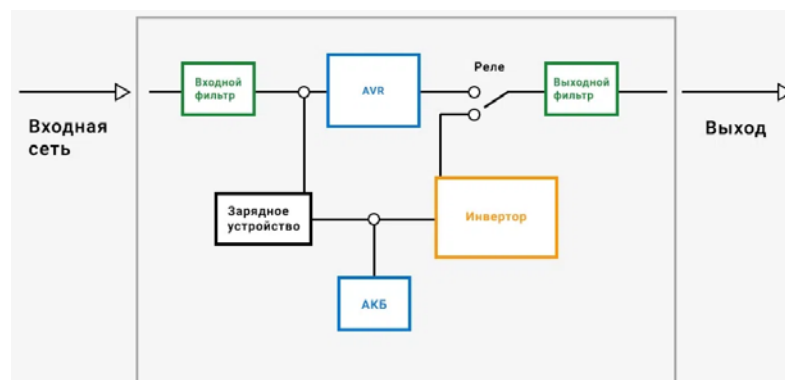


Рис. 3. Схема подключения линейно-интерактивных ИБП

Преимущества линейно-интерактивных ИБП перед резервными: сглаживание колебаний напряжения, быстрое переключение на автономный режим.

Линейно-интерактивные ИБП имеют следующие недостатки: ступенчатое регулирование напряжения, перерыв в подаче электроэнергии, отсутствие коррекции формы и частоты входного сигнала, неидеальная синусоида в автономном режиме [3].

Онлайн ИБП с двойным преобразованием обеспечивает непрерывное преобразование сетевого напряжения. Аккумуляторы подключены к выходу выпрямителя и входу инвертора, что исключает задержки при переходе в автономный режим (рисунок 4).

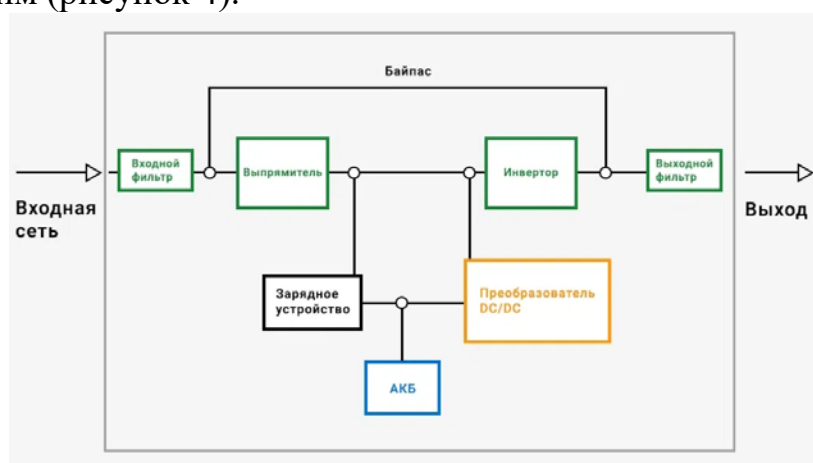


Рис. 4. Схема подключения онлайн ИБП

Онлайн ИБП обеспечивают мгновенное переключение на батарею, синусоидальную форму напряжения и широкий диапазон сетевых колебаний. Двойное преобразование гарантирует максимальную защиту нагрузки, а отсутствие влияния подключённого оборудования на сеть. Однако они стоят дороже аналогов. КПД старых моделей ниже, но новые технологии повышают его до 99%.

В заключении можно сказать, что использование различных видов резервных источников, таких как бензиновые и дизельные генераторы, а также источники бесперебойного питания, позволяет обеспечить бесперебойную

подачу электроэнергии в случае отключения основного источника. Каждый тип резервного источника имеет свои особенности, преимущества и недостатки. Так, например, бензиновый генератор лучше подходит, в качестве резервного источника питания, для частных домов во время перебоев подачи электроснабжения. Дизельный генератор в связи с большей мощностью подойдёт для резервного запитывания загородных населённых пунктов, пожарных частей, медицинских учреждений. ИБП лучше подойдут для объектов, где важна непрерывность работы критически важного оборудования, такого как серверы и системы безопасности.

Библиографический список

1) Кирилин В.М. Бензогенераторы как резервный источник питания и подключение // Генераторы. 2019. URL: <https://va23.ru/статьи/генераторы/бензогенераторы-как-резервный-источ/?ysclid=m1n2vc788i838694620> (дата обращения: 20.09.2024)

2) Лопухин А.А. Источники бесперебойного питания без секретов: монография. М.: Наука, 2002. 300 с.

3) Антонов С.Р. Типы источников бесперебойного питания. 2019. URL: <https://www.shtyl.ru/support/articles/typy-istochnikov-besperebojnogo-pitaniya/> (дата обращения: 29.09.2024)

© Колинченко Н.С., Норкин Д.Ф., 2024

УДК 614.842.6

Э.Р. АХМЕДЖАНОВА, Н.С. КУДРЯВЦЕВ

ahmedjanova03@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **З.Г. ГАБИДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР СПОСОБОВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Аннотация: в статье анализируются причины возгорания трансформаторов и описываются наиболее эффективные методы тушения возникающих в результате возгорания пожаров. В настоящее время существует множество способов ликвидации возгорания в трансформаторах, однако, при кажущейся простоте необходимо учитывать ряд важных правил.

Ключевые слова: трансформатор, пожар, возгорание, электроустановка, система пожаротушения, датчики.

Трансформаторы – важная часть инженерной инфраструктуры, связанной с генерацией и передачей электроэнергии. Трансформаторы разного масштаба используются на производстве и для организации электроснабжения жилых

объектов. Обеспечение пожарной безопасности такого оборудования является жизненно важной задачей для надежного и бесперебойного электроснабжения.

В условиях современной эксплуатации к трансформатору предъявляются серьезные требования, так как это основной элемент трансформаторной подстанции. Внимание уделяется не только техническим характеристикам, но и экологической безопасности. В России в основном используются масляные трансформаторы, но и они обладают количеством серьезных недостатков, одними из которых являются высокая пожароопасность и опасность утечки масла. Масло, заполняющее трансформатор, изоляцию, диэлектрические коврики и другие горючие материалы, используемые в конструкции трансформаторов, являются наиболее уязвимыми по отношению к возгоранию.

Пожары могут сильно повлиять на электроснабжение потребителей и на активы сетевого предприятия. Возгорание создает угрозу аварийным бригадам и людям, которые находятся вблизи, от доставленных неудобств и возможного ущерба страдает население. Поэтому принятие соответствующих противопожарных мер позволит снизить риск образования пожара и понизить последствия.

Причинами пожара трансформатора является:

- повышение температуры, приводящее к ухудшению изоляции, старению сердечников трансформатора, и, как следствие, к увеличению потерь в железе и перегреву трансформатора;
- повреждение или попадание влаги в обмотки трансформатора, что приводит к излишнему нагреву и межслойным или межвитковым коротким замыканиям;
- утечка масла, которая приводит не только к последующему воспламенению из-за высокой температуры, но и к загрязнению атмосферы;
- плохой контакт в проводке трансформатора, вызывающий локальный перегрев;
- ненадлежащее использование трансформатора;
- недостаточная вентиляция.

Последствием несвоевременного и некачественного технического обслуживания трансформаторов служит большинство из вышеперечисленных причин. Для того, чтобы предотвратить возгорания, необходимо не только выполнять регулярное техническое обслуживание и своевременное устранение неисправностей, но и правильно использовать и обеспечивать необходимой вентиляцией.

На особенности развития пожаров также влияет местоположение трансформаторов. В результате возникновения короткого замыкания по причине воздействия электрической дуги на масло трансформатора, а в дальнейшем и разложения его на горючие газы, могут происходить взрывы, приводящие к разрушению трансформаторов и масляные выключатели, а также к растеканию горящего масла. В местах установки трансформаторов пожары могут распространиться в помещение распределительного щита и кабельных

каналов, что создаст угрозу электроустановкам, находящимся вблизи камеры. Потенциальную площадь распространения пожара можно оценить по количеству масла, находящегося в каждом трансформаторе или реакторе.

Для тушения пожара на трансформаторных подстанциях применяются воздушно-механическая, компрессионная пены, распыленная вода, газовые и порошковые составы. Наиболее подходящая интенсивность подачи огнетушащих веществ:

- раствор пенообразователя низкой и средней кратности – $0,15 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$;
- распыленная вода – $0,2 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$;
- порошковые составы – $0,3 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$.

Тушением пожара в трансформаторе осуществляется следующим образом. Установка перед началом тушения отключается от сети со стороны низкого и высокого напряжений, также снимается остаточное напряжение. Происходит определение характера и степени повреждения трансформатора, вероятность растекания горячей жидкости по направлению к другим трансформаторам и соседнему оборудованию, оценивается возможность пожаротушения стационарных установок при их наличии. Тушение пожара с использованием огнетушащих веществ разрешается после выполнения всех вышеперечисленных действий. В случае возгорания масла на крышке трансформатора подают пожарные стволы с обеспечением требуемой интенсивности $0,2-0,4 \text{ л/с}^2$. Если же крышка трансформатора повреждена или сорвана, то возгорание масла возможно в баке или вокруг трансформатора, для тушения используется комбинация огнетушащих веществ. Слив масла из горящего трансформатора в аварийную емкость не разрешается, это усложняет тушение пожара, так как возможно повреждение внутренних обмоток. В случае потенциального возгорания электрооборудования, которое находится вблизи, требуется обеспечить тушение водяным потоком струи. При этом электрооборудование не должно быть обесточенным, потому что пустой трансформатор сильнее подвержен риску возникновения взрыва.

Способы тушения пожара в трансформаторе:

1. Пенное тушение.

Одним из наиболее рациональных методов с точки зрения критериев эффективности и экономических затрат является тушение пожаров в трансформаторах составами, состоящими из пены. Для задерживания пламени используется воздушно-механическая пена низкой кратности, при этом объем пены почти превышает объем исходных веществ на небольшой коэффициент. Задачи данного огнетушащего вещества – теплоотвод, охлаждение трансформатора, перекрытие кислорода к очагу пожара.

Действие пены осуществляется следующим образом: очаг возгорания покрывается тонкой пленкой, тем самым предотвращая повторное возгорание. Для большей эффективности необходимо подавать пену под давлением с распылением. Данный способ позволяет увеличить площадь покрытия, это в свою очередь ускоряет процесс подавления огня.

2. Водяное тушение.

Для повышения уровня пожарной безопасности на трансформаторных подстанциях устанавливаются водяные системы пожаротушения, принцип работы которых основан на распылении воды.

Мелкодисперсный аэрозоль эффективно борется с теплом и приводит к охлаждению электрооборудования. Отличие его от пены в том, что данный метод не образует защитную пленку, тем самым доступ кислорода к очагу пожара не перекрывается.

Если рассматривать водный метод тушения пожара с экономической стороны, то он более бюджетный. Во-первых, нет необходимости в установке оборудования и специальных емкостей для пенообразователя. Во-вторых, расход воды при распылении минимальный.

3. Порошковые и газовые системы.

Данный метод в сравнении с вышеперечисленными значительно дороже, поэтому используется реже. Однако автоматическое тушение пожаров трансформаторов газовыми и порошковыми системами довольно эффективно. Для полного устранения возгорания газовой установке необходимо несколько секунд, так как газ полностью вытесняет кислород, и возгорание перестает распространяться. Однако недостаток такой системы в том, что пожаротушение возможно только в силовых трансформаторах, установленных в помещении.

Система пожаротушения порошковыми составами требует больше времени на ликвидацию пожара, но обладает преимуществом, так как может использоваться не только в герметичных помещениях.

С точки зрения безопасности для оборудования все подходы надежны, недостатком обладает лишь водное тушение: при ликвидации возгорания в подключенном к сети трансформаторе подача воды может привести к серьезным поломкам.

В качестве примера инновационного противопожарного решения для предотвращения возгорания в стратегически важных энергоустановках можно привести автоматические системы пожаротушения. Принцип работы установок заключается в том, что при появлении признаков пожара срабатывают датчики дыма, тепла, система направляет тревожный сигнал на пульт сигнализации охране. Основным назначением системы пожаротушения является принятие мер по противодействию распространения пламени и ее ликвидация до приезда пожарной службы.

Датчики непрерывно контролируют состояние воздуха в трансформаторной будке, в случае изменения температуры или концентрации дыма, датчик на это реагирует. При выявлении признаков пожара оборудование незамедлительно приводит в действие распылители воды, пенообразователи.

Преимущество автоматики заключается в том, что его использование способствует быстрому реагированию на пожар, это значительно снижает риск распространения пламени, уменьшая потенциальный ущерб. Автоматизация процесса позволяет контролировать безопасность при пожаре в удаленных и труднодоступных местах, где нет необходимости в присутствии человека.

Несмотря на достоинства использования у систем автоматического

пожаротушения трансформаторов существует и ряд недостатков. Для их надежной и эффективной работы необходимо обеспечение регулярного технического обслуживания. Кроме того, при использовании воды или пены возможно повреждение устройства трансформатора или электрооборудования. Системы, основанные на использовании инертных газов, экономически не выгодны в установке и обслуживании, хотя и являются безопасными для оборудования.

Выбор надежного оборудования на объектах энергетики является важнейшим фактором обеспечения безопасности. Каждый трансформатор требует разный уровень защиты, выбор системы пожаротушения зависит от множества факторов: мощности трансформатора, характеристик его эксплуатации.

Среди всех систем пожаротушения самыми распространенными и эффективными являются дренчерные оросители «Антифайер», предназначенные для ликвидации возгорания масляных трансформаторов, установка «Пожнефтехим», которая используется для трансформаторных подстанций.

Выбор системы пожаротушения должен основываться на тщательном анализе рисков, экономических соображений и соответствия нормативным требованиям. Такой подход обеспечит не только эффективное пожаротушение, но и безопасное использование электрооборудования.

Соблюдение правил пожарной безопасности помогут снизить риск возгорания. Необходимо выполнять правила пользования электрооборудованием во избежание перегруза сети. Должны регулярно проводиться технические осмотры и ремонт оборудования. Чтобы избежать риска возгорания требуется следить за оборудованием, а также правильно его эксплуатировать.

Библиографический список

1. Требования пожарной безопасности к помещениям трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: <https://propb.ru/articles/mery-po-obespecheniyu-protivopozharnoy-zashchity-zdaniy-i-sooruzheniy/trebovaniya-pozharnoy-bezopasnosti-k-pomeshcheniyam-transformatornykh-podstantsiy/> (Дата обращения 03.10.2024).

2. Сухие трансформаторы. Надежность и безопасность [Электронный ресурс]: <https://electronmash.ru/press/media/sukhie-transformatory-nadezhnost-i-bezopasnost> (Дата обращения 03.10.2024).

3. Требования пожарной безопасности в помещениях трансформаторных подстанций [Электронный ресурс]: <https://alfakonsulting.ru/company/articles/bezopasnost-v-transformatornyh-podstanciyah/> (Дата обращения 03.10.2024).

4. Особенности тушения пожаров на промышленных объектах [Электронный ресурс]: <https://fireman.club/conspects/osobennosti-tusheniya-pozharov-na-promyishlennyih-obektah-tema-16/> (Дата обращения 03.10.2024).

5. ПОЖСОЮЗ: системы пожаротушения [Электронный ресурс]: <https://firehub.ru/statii/pozharotushenie-transformatorov/> (Дата обращения 03.10.2024).

6. Автоматическая система пожаротушения трансформатора [Электронный ресурс]: <https://npksp.ru/proektirovanie/resheniya/osnaschenie-transformatorov-sistemami-pozharotusheniya/> (Дата обращения 03.10.2024).

© Кудрявцев Н.С., Ахмеджанова Э.Р., 2024

УДК 621.313.3

В.Р. НАСЫРОВ, Р.И. ГАРЕЕВ

rustamgareev85@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **М.Б. ГАРЕЕВА**

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДОВ НА ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ

Аннотация: в статье показана актуальность применения частотно-регулируемого электропривода в различных отраслях народного хозяйства, проанализировано влияние ЧРП на энергосбережение и экологическую безопасность.

Ключевые слова: частотно-регулируемый привод; энергосбережение, экологическая безопасность.

Частотно-регулируемые электроприводы (ЧРП) находят широкое применение в различных отраслях экономики страны благодаря своей универсальности и эффективности:

- *Нефтедобыча и переработка:* насосное оборудование, привод аппаратов воздушного охлаждения и градирен, комплексная автоматизация различных технологических линий.

- *Металлургия:* приводы рольгангов, конвейеров, прокатных станов, наматывающих устройств волочильных станов, насосов, вентиляторов.

- *Машиностроение:* привод обрабатывающих станков, насосы, конвейерные линии, полиграфические машины.

- *Горнодобывающее и обогащительное производство:* дробилки, мешалки, конвейеры, песковые и пульповые насосы.

- *Химическая промышленность:* насосы, мешалки, грануляторы, экструдеры, центрифуги, приводы дымососов и вентиляторов, АСУ.

- *Пищевая промышленность*: грануляторы, экструдеры, мельницы, дробилки, куттеры, жом-прессы, этикетировочные аппараты, конвейеры, технологические линии, насосы, вентиляторы.

- *Жилищно-коммунальное хозяйство*: Использование ЧРП в насосных станциях позволяет регулировать подачу воды в зависимости от потребностей, что обеспечивает экономию энергии.

- *Строительство*: В строительной отрасли ЧРП применяются для управления кранами и другими подъемными механизмами.

- *Транспорт*: в транспортной сфере частотные преобразователи используются для управления приводами судов, электротранспорта.

- *Промышленное производство*: ЧРП используются для управления двигателями в конвейерах, цехах обработки и на сборочных линиях.

- *Сельское хозяйство*: ЧРП применяются для управления системами орошения.

Влияние частотно-регулируемых приводов на энергосбережение и экологическую безопасность является значительным и имеет ряд важных аспектов:

1. Энергосбережение с применением ЧРП обусловлено рядом аспектов:

- *Энергоэффективность*: ЧРП позволяют точно регулировать скорость и момент вращения электродвигателя в зависимости от потребностей процесса, что значительно снижает энергозатраты. Благодаря возможности плавного регулирования скорости и мощности, ЧРП позволяют избежать лишних потерь энергии, что особенно актуально в случае переменной загрузки или изменяющихся условий работы оборудования. Использование ЧРП также позволяет снизить пусковые токи и тем самым уменьшить энергозатраты на запуск электродвигателя.

- *Улучшение качества процессов*: Возможность плавного и точного регулирования скорости обеспечивает более высокое качество производственных процессов и уменьшение механических нагрузок на оборудование.

- *Снижение износа оборудования*: Изменение скорости работы двигателя в зависимости от реальных требований процесса снижает нагрузку на механические компоненты и продлевает срок службы оборудования.

- *Устойчивость к нагрузкам*: Частотные преобразователи способны справляться с изменениями нагрузки, что позволяет поддерживать стабильную работу системы даже в условиях переменных условий.

- *Интеграция в системы автоматизации*: ЧРП легко интегрируются в современные системы автоматизации, что позволяет реализовывать сложные алгоритмы управления и мониторинга.

2. Экологическая безопасность: Снижение потребления энергии способствует уменьшению углеродного следа и негативного воздействия на окружающую среду.

- ЧРП способствуют снижению выбросов вредных веществ в окружающую среду за счет оптимизации работы электродвигателей и уменьшения потребления электроэнергии. Это особенно важно для промышленных предприятий, где большое количество электроприводов может оказывать значительное воздействие на окружающую среду.

- Сокращение шума и вибрации при использовании ЧРП также способствует улучшению экологической обстановки в рабочих помещениях и на производственных площадках, что повышает комфорт работников и снижает негативное воздействие на здоровье человека.

Таким образом, использование частотно-регулируемых электроприводов становится не просто выгодным, но и необходимым в промышленности и других сферах, способствует энергосбережению и снижению эксплуатационных затрат, благоприятно влияет на экологическую безопасность производства, что делает данную технологию важным инструментом для достижения устойчивого развития и соблюдения экологических стандартов.

Библиографический список

1. Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин, Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 8. Асинхронный частотно – регулируемый электропривод: учебное пособие. Томский политехнический университет. 2 – е. изд., перераб. и доп., - Томск: Изд – во Томского политехнического университета, 2014. – 648 с.

2. Частотные преобразователи [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://www.110volt.ru/text/invertor> (дата обращения 13.11.2024)

3. MICROMASTER преобразователи частоты [Электронный ресурс] – URL: <https://www.siemens-pro.ru/doc/documentation/micromaster.pdf> (дата обращения 13.11.2024);

4. Преобразователи частоты [Электронный ресурс] – URL: <http://vlt-invertor.ru/preobrazovatel-chastoty-vlt-automationdrive-fc301-i-fc302/> (дата обращения 13.11.2024);

5. А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев, Электропривод переменного тока: учебное пособие/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2011. – 213с.

6. Кузнецов Ю.В., Федорова С.В. Энергосберегающие технологии и мероприятия в системах энергоснабжения. Учебное пособие. Екатеринбург: УРО РАН, 2008 – 356 с.

7. Иванов А.А. Автоматизация технологических процессов и производств: Учебное пособие / А.А. Иванов. – Москва: Форум, 2012 – 224 с.

8. Ермоленко А.Д. Автоматизация процессов: Учебное пособие / А.Д. Ермоленко, О.Н. Кашин, Н.В. Лисицын; Под общ. ред. В.Г. Харазов. – Санкт–Петербург: Профессия, 2012 – 304 с.

9. Дастин Э. Внедрение, управление и автоматизация / Э. Дастин, Д. Рэшка, Д. Пол; Пер. с англ. М. Павлов. – Москва: Лори, 2013 – 567 с.

© Насыров В.Р., Гареев Р.И., 2024

УДК 621.452.32

И.К. РЫБАКОВ

IVAN2002213@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Н.Л. БАБИКОВА**

Уфимский университет науки и технологий

АГРЕГАТЫ ЗАЖИГАНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация: в статье в рамках разработки емкостного агрегата зажигания малоразмерного газотурбинного двигателя рассмотрено применение МГТД в различных областях, сравнен зарубежный и отечественный практический опыт в данной сфере, обоснован выбор емкостных агрегатов зажигания, проведено сравнение отечественных и зарубежных аналогов емкостных агрегатов зажигания МГТД.

Ключевые слова: емкостной агрегат зажигания, малоразмерный газотурбинный двигатель.

В настоящее время МГТД находят широкое применение как в авиации различного назначения, так и в наземном, морском и речном транспорте, а также в наземных генераторных установках. Кроме этого ускорившееся развитие и применение беспилотных авиационных систем и тот факт, что данные двигатели получили большее развитие за рубежом (причём на многих отечественных разработках применяются малоразмерные газотурбинные двигатели зарубежного производства) делает работу по данной тематике очень перспективной.

Существует множество примеров применения МГТД в пилотируемой авиации зарубежного производства [1,2,3]. В отечественной же практике, не смотря на наличие поддержки отрасли нужду в развитой малой авиации в Российской Федерации (в следствие больших расстояний - на 60% территории РФ малая авиация является чуть ли не единственным средством обеспечения транспортной доступности), на данный момент нету примера, успешно применяющего массового современного лёгкого самолёта, хотя существуют и государственная поддержка, и проекты, развивающийся в данном направлении (например, ЛМС-901 «Байкал») [4].

МГТД активно применяются и на вертолётах. Очень показательным примером является Ка-226, разработанный ОАО «Камов». В качестве маршевых двигателей в Ка-226 используются 2 двигателя Arrius 2G1 французской компании Safran [5]. В настоящее же время АО «ОДК» в рамках импортозамещения разрабатывает проект двигателя ВК-650В для замены Arrius 2G1 [6].

Активное внедрение малоразмерных газотурбинных двигателей в сферу беспилотных летательных аппаратов происходит, не смотря на то, что ГТД гораздо шире распространены именно в пилотируемой авиации, в то время как в беспилотном секторе чаще всего используются электромоторы и двигатели внутреннего сгорания (ДВС), включая поршневые. Эксперты подчёркивают, что одним из преимуществ МГТД является то, что он может быть преобразован в различные моторы, что расширяет номенклатура его носителей. Например, малоразмерные ГТД подойдут дронам не только самолётного, но и вертолётного типа. Помимо этого, более мощные агрегаты вполне могут применяться на тяжёлом разведывательном БПЛА, который способен преодолевать значительные расстояния и подниматься на большие высоты. Возможно и создание семейства дронов-истребителей на реактивной тяге. За счёт скорости и манёвренности такие аппараты смогут легко настигать дроны неприятеля.

Стоит упомянуть, что в отечественной практике ранее имело место применение МГТД в беспилотных авиационных системах – в крылатых ракетах и самолётах-мишенях [7].

Применение МГТД находят и в наземных энергетических установках, однако, в мире не так много производителей подобных установок и все они являются зарубежными компаниями: *Elliott*, *Bowmen*, *Capstone*. Такие установки ориентированы в первую очередь на МЧС, военных, а также предназначены для работы в условиях Крайнего Севера и Арктики, для резервных источников питания на судах, во временных поселениях, на магистральных газопроводах.

Найти применение МГТД можно и в наземной технике, например, в такой военной технике как танки. Главными примерами применения являются зарубежный отечественный Т-80 и *Abrams M1*, на которые установлены ГТД-1000 (или ГТД-1100 мощностью 809 кВт, или ГТД-1250 мощностью 920 кВт в зависимости от модификации), изготавливаемые ОДК-Климов, и *AGT-1500* фирмы *AVCO Lycoming* мощностью 1190 кВт соответственно [8,9].

Согласно существующим нормативным документам (ОСТ 1 02542-85 «Системы зажигания электрические авиационных газотурбинных двигателей. Классификация и обозначение») классификационными признаками являются тип преобразователя, тип накопителя энергии и уровень напряжения на выходе агрегата зажигания. Классификация агрегатов зажигания определяется классификацией систем зажигания. Классификация систем зажигания показана на рис. 1.

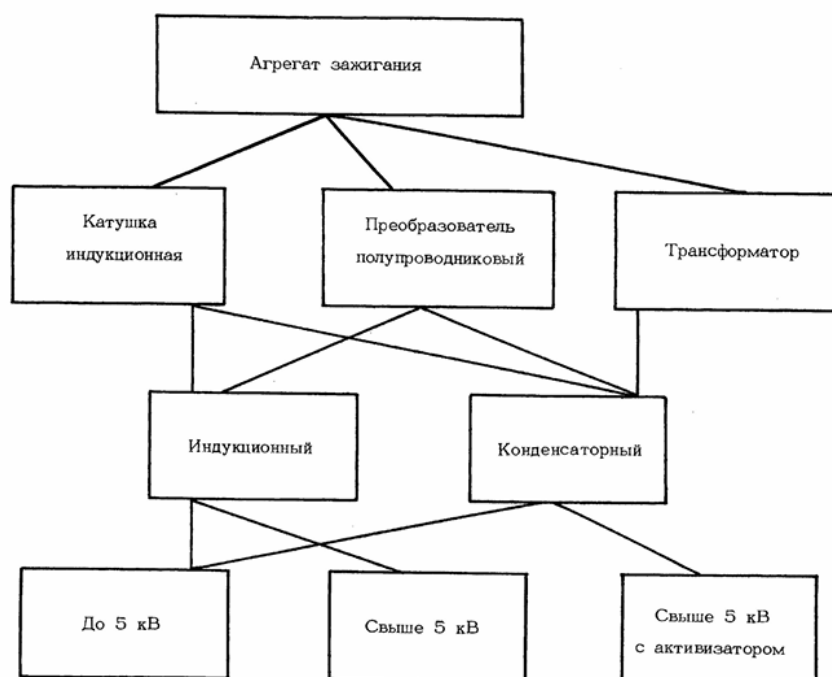


Рис. 1. Классификация систем зажигания по ОСТ 1 02542-85

В следствие дальнейшего развития элементной базы классификация электрических систем зажигания расширилась, появились новые типы систем, такие как плазменные, лазерные системы зажигания. Это было вызвано необходимостью в увеличении дальности воздействия источника воспламенения (искрового разряда, плазменной дуги) на топливовоздушную смесь.

Выбор низковольтной емкостной системы зажигания для МГТД был сделан на основе следующих соображений:

- импульсная мощность в искровом разряде такой системы значительно превышает мощность в других системах;
- относительная простота конструкции позволяет удовлетворять предъявляемым требованиям к массогабаритным характеристикам в следствие малых габаритов объекта применения;
- отсутствие необходимости в дополнительных узлах конструкции системы, обеспечивающих доставку источника воспламенения в необходимую зону камеры сгорания.

В качестве агрегатов-аналогов будут рассматриваться зарубежные агрегаты зажигания, применяемые на маршевых МГТД, и отечественные агрегаты зажигания вспомогательных силовых установок (ВСУ).

1) Одноканальный агрегат зажигания *PBS P/N 81550.01* производства чешской компании *PBS Velka Bites* применяется на МГТД *TJ100*, разработанный для работы в качестве маршевого в составе беспилотный авиационных систем и ВСУ *Safir 5L*, предназначенной для подачи сжатого воздуха в воздушные системы запуска авиационных двигателей [10]. Агрегат изображен на рисунке 2.



Рис. 2. Одноканальный агрегат зажигания PBS P/N 81550.01

2) Одноканальный агрегат зажигания *CH92133* производства американской компании *Champion Aerospace* применяется на МГТД *M250*, который устанавливается на, например, вертолёты *Bell OH-58*, *Bell 206*, *Sikorsky S-76*, *Eurocopter AS350* и др. [11]. Агрегат изображен на рисунке 1.3.



Рис. 3. Одноканальный агрегат зажигания CH92133

3) Отечественный одноканальный агрегат зажигания ПВФ-11-1 производства АО «УАПО» применяются на двигателях ТА-14, ТА-14-130, ТА-18-100, ТА-18-200, ТА-14-100-35, ТА-14-100-28 (вертолетов Ка-60, Ка-62, Ми-171 и самолетов Ту-334, С-80, Ан-38, Як-130, Су-35). Агрегат изображен на рисунке 1.4.



Рис. 4. Одноканальный агрегат зажигания ПВФ-11-1

Сравнение параметров вышеприведённых агрегатов зажигания представлено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение агрегатов зажигания МГТД

Характеристики	<i>PBS P/N 81550.01</i>	<i>CH92133</i>	ПВФ-11-1
Напряжение питания, В	28 (14-30)	(14-30)	27
Потребляемый ток, А	<1,5	<1,5	0,8-1,8
		1,1 (типичное)	
Развиваемое напряжение, кВ	(2,5-3)	>7	>5
		8 (типичное)	
Накопленная энергия, Дж	>0,6	1,4	1,1 (0,6-1,6)
Частота разрядов, Гц	3-6 (при 14 В)	5,6 (при 14 В)	16 (8-32)
	4-7 (при 30 В)	12 (при 29 В)	
Габариты, мм	146x96x58,5	–	76x142x192
Масса, кг	0,55	0,635	1,1

Подводя итог, на данный момент разработки в сфере емкостных агрегатов зажигания для МГТД являются перспективными. Продиктовано это широким распространением данных двигателей в таких сферах, как пилотируемая авиация, наличием у них потенциала в областях, где они либо ранее применялись ограниченно, либо не применялись совсем (беспилотные авиационные системы и наземные энергетические установки), преимуществом в развитии в этой сфере у зарубежных фирм (а значит, любые проекты в данной сфере будут проходить в рамках импортозамещения), наличием спроса/необходимости в их применении на территории РФ (в малой авиации и в наземных энергетических установках при освоении Арктики и Крайнего Севера, на магистральных газопроводах и т.д.) и преимуществом емкостных систем зажигания (импульсная мощность в искровом разряде, значительно превышающая мощность в других системах, простота конструкции, отсутствие необходимости в дополнительных узлах конструкции системы, обеспечивающих доставку источника воспламенения в необходимую зону камеры сгорания, повсеместное использование, за исключением случаев, когда условия для воспламенения неблагоприятные и невозможно расположить свечу в необходимом месте).

Библиографический список

1. TBM 910 Turboprop Aircraft [Электронный ресурс] URL: <https://www.tbm.aero/page/tbm910> (дата обращения 15.11.2024).
2. King Air 260 [Электронный ресурс] URL: <https://beechcraft.txtav.com/en/king-air-260> (дата обращения 15.11.2024).
3. Cessna Caravan [Электронный ресурс] URL: https://cessna.txtav.com/en/turboprop/caravan#_model-specs (дата обращения 15.11.2024)
4. В.И. Тимофеев, Е.А. Пузий Современное состояние и инновационные решения в развитии малой авиации России // Иновационная экономика №9 2021 – С.35-43.
5. Двигатель Arrius 2G1 [Электронный ресурс] URL: <https://www.safranheasiatask.comnet.com.sg/files/products/Arrius%202G1.pdf> (дата обращения 15.11.2024).
6. Двигатель ВК-650В [Электронный ресурс] URL: <https://www.uecrus.com/products-and-services/products/vertolyety/dvigatel-vk-650v/> (дата обращения 15.11.2024).
7. Д.С. Легконогих, А.А. Крылов, М.С. Иванов Современное состояние и перспективы развития силовых установок беспилотных летательных аппаратов // Военная мысль №4 2019
8. Двигатель ГТД-1250. Основная информация и технические характеристики [Электронный ресурс] URL: <https://web.archive.org/web/20140402032741/http://klimov.ru/production/landmarine/GTD-1250/> (дата обращения 15.11.2024).
9. M1 Abrams [Электронный ресурс] URL: <https://www.deagel.com/Armies/M1%20Abrams/a000516> (дата обращения 15.11.2024).
10. Single-channel ignition PBS P/N 81550.01 [Электронный ресурс] URL: <https://www.pbs.cz/en/Aerospace/Aviation-devices-and-engine-components/Single-channel-ignition> (дата обращения 15.11.2024).
11. Champion Ignition Exciter Model CH92133 Competitive analysis [Электронный ресурс] URL: <https://www.championaerospace.com/wp-content/uploads/2022/07/CH92133-M250-Ignition-Exciter-Competitive-Analysis-April-2017.pdf> (дата обращения 15.11.2024).

© Рыбаков И.К., 2024

А.В. СЕРГЕЕВ, Р.И. ГАРЕЕВ*rustamgareev85@mail.ru*Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. **М.Б. ГАРЕЕВА***Уфимский университет науки и технологий*

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТАТИЧЕСКОГО СИНХРОННОГО КОМПЕНСАТОРА И АКТИВНЫХ ФИЛЬТРОВ В КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Аннотация: в статье проведено сравнение эффективности статического синхронного компенсатора и активных фильтров.

Ключевые слова: статический синхронный компенсатор; активный фильтр, компенсация реактивной мощности.

Активные фильтры представляют собой устройства, которые используют силовые полупроводниковые элементы для генерации токов переменного напряжения, частоты и компенсации реактивной мощности в электрических сетях [1]. Принцип работы активных фильтров основан на обнаружении и уменьшения реактивной мощности посредством генерации токов. Активные фильтры предоставляют динамическую реактивную компенсацию, что позволяет улучшать энергоэффективность и надежность системы электроснабжения [2, 3].

На данный момент существует множество вариаций активных фильтров для различных нужд. В данной статье будет рассмотрен только шунтирующий активный фильтр на основе инвертора напряжения (VSI) из-за его широко известной топологии и простой процедуре установки. На рисунке 1 показана основная конфигурация шунтирующего активного фильтра на основе инвертора напряжения. Он состоит из конденсатора постоянного тока (C_f), силовых полупроводниковых ключей и интерфейсных индукторов (L_f). шунтирующий активный фильтр действует как источник тока [4].

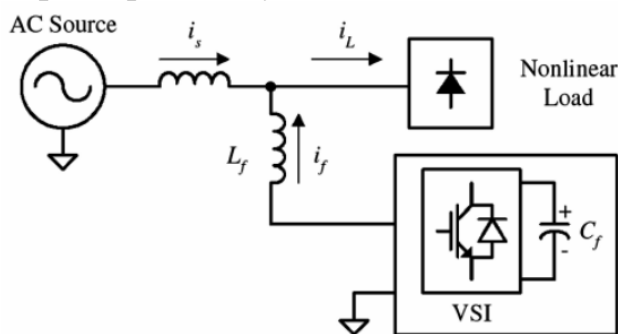


Рис. 1. Принципиальная схема шунтирующего активного фильтра

Работа шунтирующего активного фильтра основана на подаче компенсационного тока, равного искаженному току, что позволяет устранить исходный искаженный ток [5, 6]. Это достигается путем путём «формирования» формы волны компенсационного тока (i_f) с использованием ключей инвертора напряжения [7]. Форма компенсационного тока получается путем измерения тока нагрузки (i_L) и вычитания его из синусоидальной опорной величины. Целью шунтирующего активного фильтра является получение синусоидального тока источника (i_S) с использованием соотношения:

$$i_S = i_L - i_f.$$

Математическая модель активного шунтирующего фильтра представлена на рисунке 2. На математической модели представлен стандартный шунтирующий активный фильтр с *IGBT* инвертором и катушкой индуктивности.

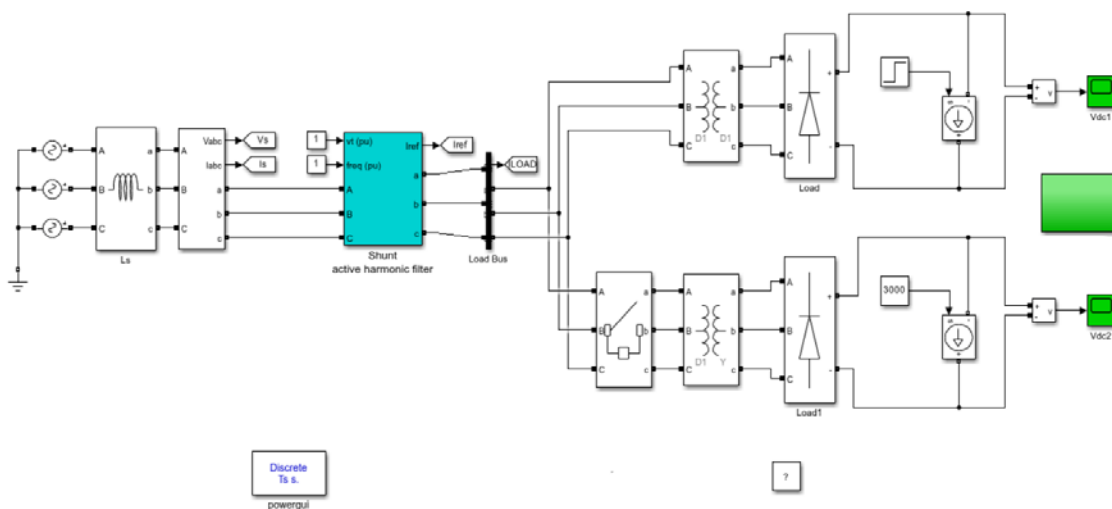


Рис. 2. Математическая модель активного шунтирующего фильтра

Шунтирующие активные фильтры подключаются параллельно к системе питания двигателей [8]. Это позволяет фильтру непосредственно воздействовать на токи, текущие через двигатели, и генерировать компенсационный ток для устранения реактивной мощности [9, 10].

На рисунке 3 представлен график напряжения сети, активного шунтирующего фильтра и двух асинхронных двигателей

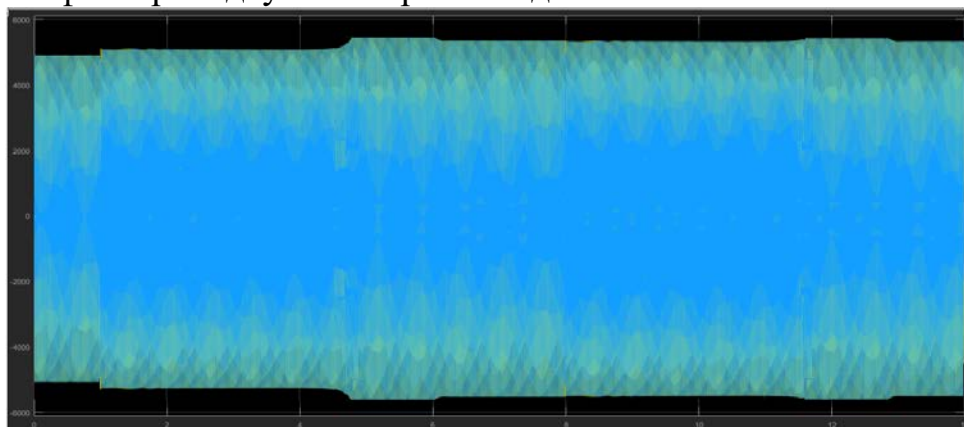


Рис. 3. График напряжения сети, активного шунтирующего фильтра и двух асинхронных двигателей

На всем процессе симуляции двигателя не наблюдается кратковременного снижения напряжения при пуске двигателя как это было в схеме со STATCOM и в схеме с батареями статических конденсаторов. Шунтирующие активные фильтры способны генерировать компенсирующий ток, который нацелен на устранение возникающих искажений и снижение реактивной мощности, в результате чего дополнительная реактивная нагрузка от пуска двигателя компенсируется, что в свою очередь сохраняет более стабильное напряжение в сети. Напряжение на 1 секунде повысилось с 4900 В до 5150 В и сохранялось неизменным вплоть до конца переходного процесса. После 6 секунды напряжение установилось на значении.

Во время пуска второго асинхронного двигателя, напряжение лавинообразно повысилось со значения 5150 В до 5300 В и сохранялось неизменным вплоть до конца переходного процесса. После его окончания, на вал прикладывается нагрузка и значение напряжения установилось на 5150 В.

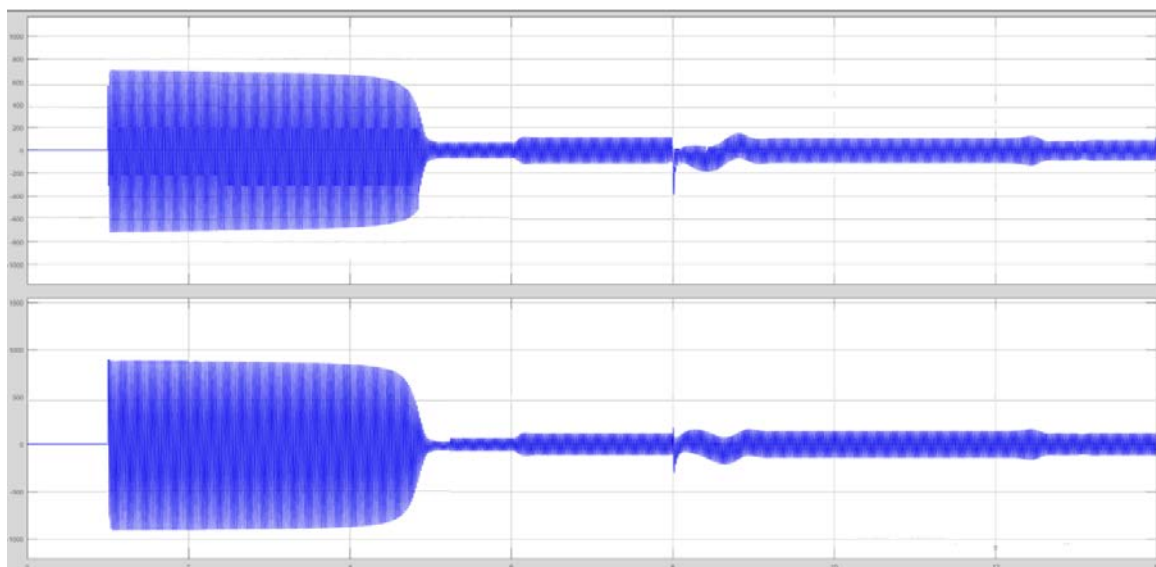


Рис. 4. График токов статора первого асинхронного двигателя с использованием активных шунтирующих фильтров

На графике можно заметить, что влияние второго асинхронного двигателя на первый уменьшилось, при этом уменьшились токи связанные с переходным процессом, на первом асинхронном двигателе значение токов переходного процесса составляли 730 А. В реализованной схеме двух асинхронных двигателей значение токов переходного процесса составляли 920 А, а в схеме со STATCOM, токи достигали 1200 А, но при этом время переходного процесса сократилось в 2 раза, на данном графике сокращение времени переходного процесса не наблюдается. После завершения переходного процесса, токи установились на значении 80 А что эквивалентно значению с использованием STATCOM.

На рисунке 5 представлен график токов статора второго асинхронного двигателя. При подаче нагрузки, ток установился на значении 110 А.



Рис. 5. График токов статора второго асинхронного двигателя

На втором графике повышенные токи, связанные с переходным процессом также уменьшились, среднее значение токов при переходном процессе составило 840 А. После завершения переходного процесса, токи снизились до значения в 90 А, при подаче нагрузки, ток установился на значении 115 А.

На рисунке 6 представлен график активной и реактивной мощности первого асинхронного двигателя с подключенным к нему активным шунтирующим фильтром.

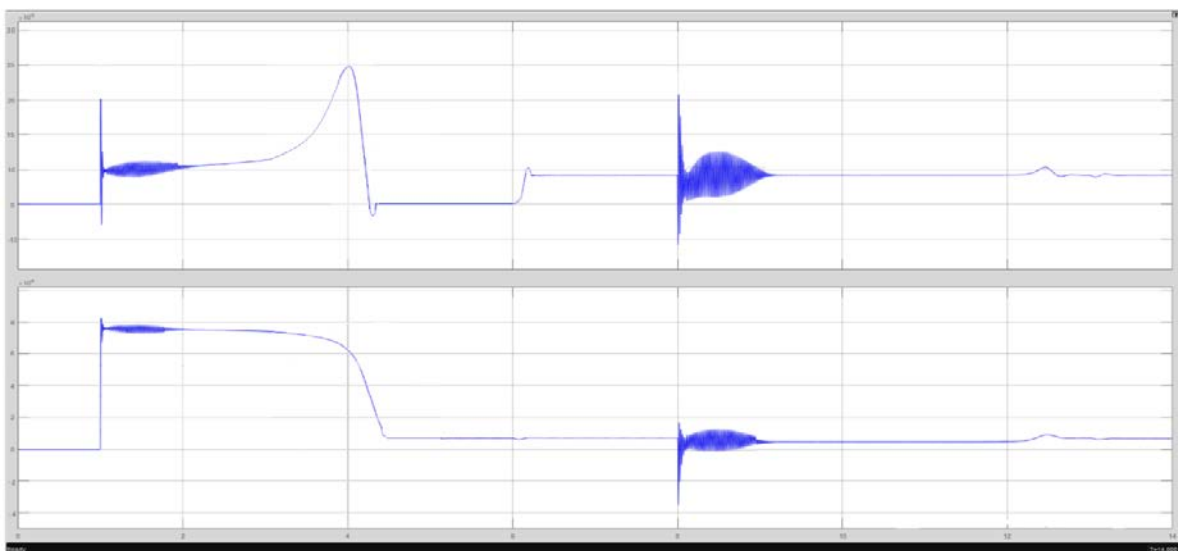


Рис. 6. График активной и реактивной мощности первого асинхронного двигателя с подключенным к нему активным шунтирующим фильтром

После пуска первого АД, наблюдается кратковременное резкое увеличение активной мощности, в момент переходного процесса активная мощность начинает стремительно расти, и в момент пика достигала $P = 25 \cdot 10^5$ Вт.

В момент окончания переходного процесса активная мощность установилась на значении $P = 10 \cdot 10^5$ Вт. Реактивная же мощность оставалась на значении $Q = 8 \cdot 10^6$ ВАр в плоть до окончания переходного процесса.

На графике 7 представлена активная и реактивная мощность второго асинхронного двигателя с подключенным к нему активным шунтирующим фильтром.

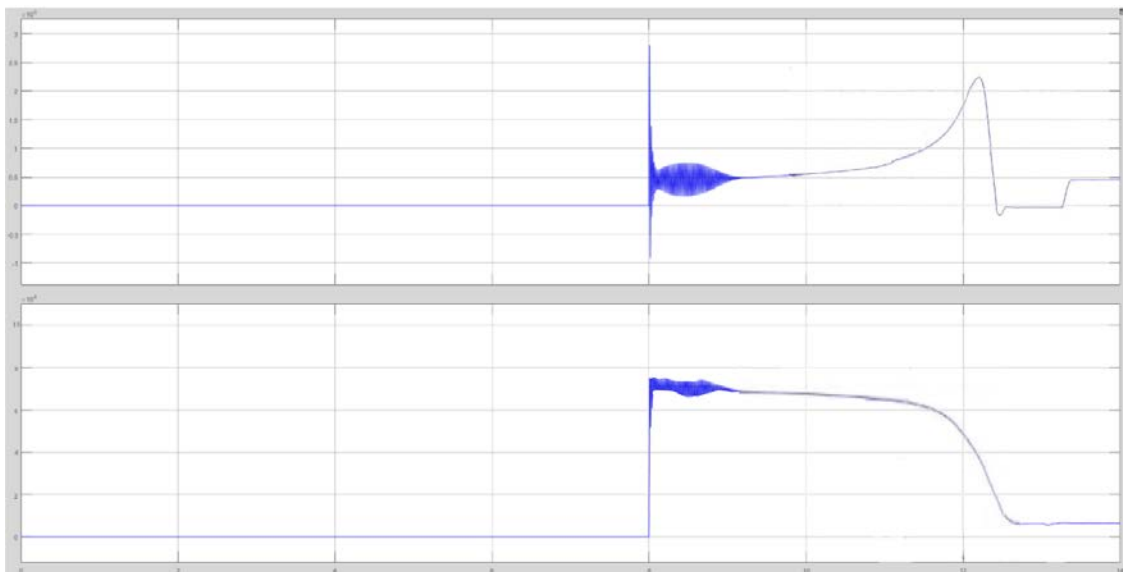


Рис. 7. График активной и реактивной мощности второго асинхронного двигателя с подключенным к нему активным шунтирующим фильтром

На втором графике активная составляющая выросла на 0,07 секунд на значение $P = 3 \cdot 10^6$ Вт а реактивная $Q = 7,2 \cdot 10^6$ ВАр, то есть в моменте реактивной мощности было больше активной на порядок. Реактивная мощность постепенно уменьшалась на всем протяжении переходного процесса, и в конце переходного процесса приблизилась к значению $Q = 1 \cdot 10^6$ ВАр.

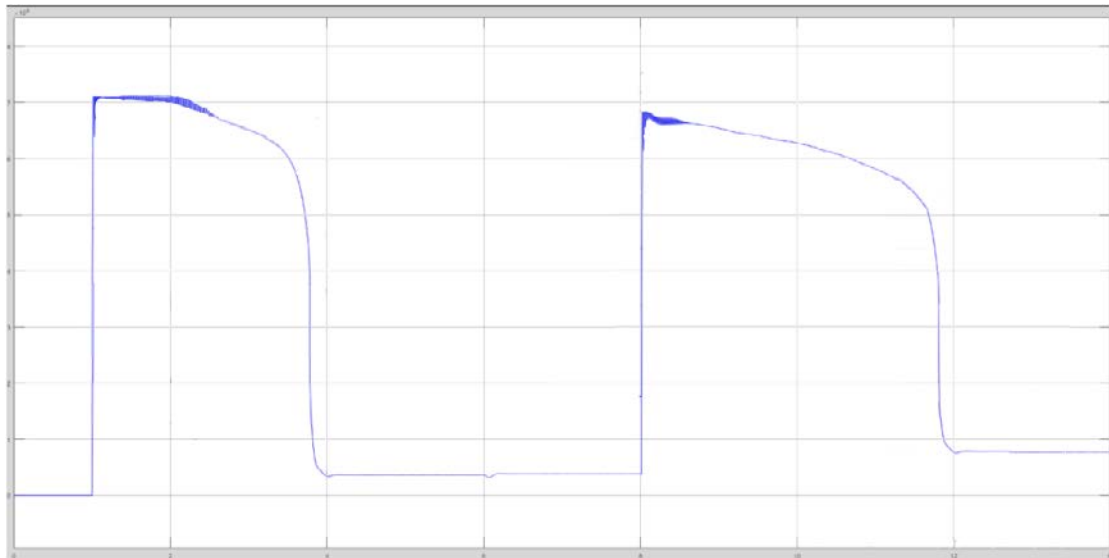


Рис. 8. График суммы реактивной мощности двух двигателей

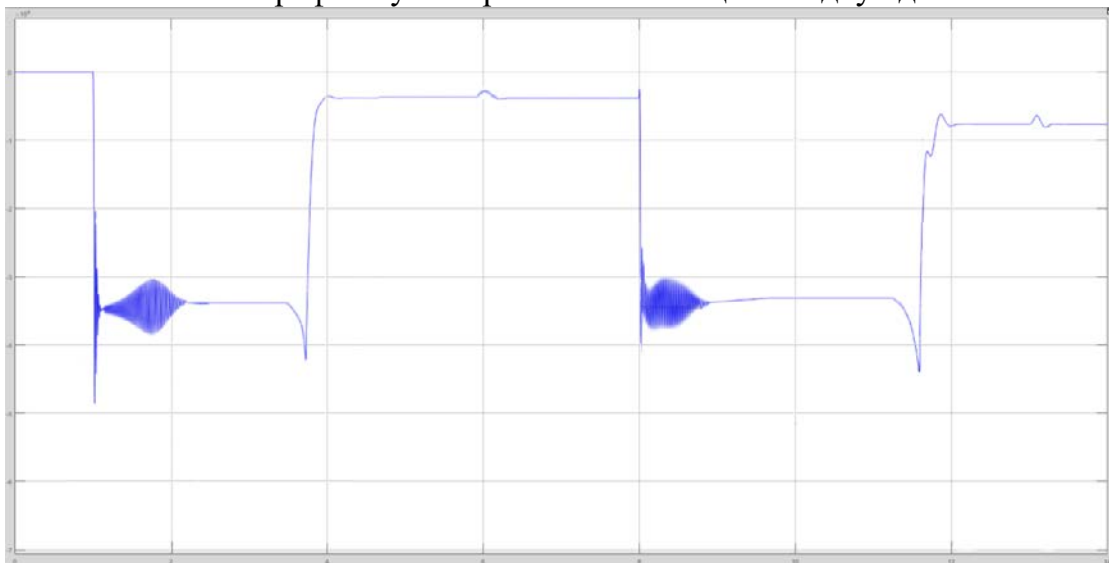


Рис. 9. График реактивной мощности, выделяемой шунтирующим активным фильтром

Из рисунка 8 и 9 наблюдается компенсация реактивной мощности со стороны устройства шунтирующим активным фильтром. На первом асинхронном двигателе $Q = 6 \cdot 10^6$ ВАр и на втором $Q = 5,8 \cdot 10^6$, устройство скопенсировало на первом двигателе $Q = -3,4 \cdot 10^6$ ВАр и $Q = -3,6 \cdot 10^6$ ВАр соответственно.

После такой симуляции можно сравнить статический синхронный компенсатор и шунтирующие активные фильтры без дальнейших исследований, активные фильтры работают менее эффективно чем *STATCOM* по некоторым причинам:

1) Относительно низкий уровень компенсации по сравнению со *STATCOM* но лучше чем у батарей статических конденсаторов. На первом асинхронном двигателе удалось скопенсировать $Q = -3,4 \cdot 10^6$ ВАр а на втором $Q = -3,6 \cdot 10^6$ ВАр, в то время как схема со статическим

компенсатором скомпенсировала на первом асинхронном двигателе $Q = -4,1 \cdot 10^6$ ВАр а на втором $Q = -3,8 \cdot 10^6$ ВАр.

2) Фильтры требуют постоянного мониторинга и регулирования параметров работы для обеспечения оптимальной компенсации реактивной мощности и подавления гармоник. Поскольку нагрузка на активные фильтры может изменяться со временем из-за различных условий эксплуатации электрической системы, необходимо постоянно контролировать и настраивать работу фильтра для достижения максимальной эффективности и производительности [9].

3) Шунтирующие активные фильтры в большей степени скомпенсировали падение напряжение на первом и втором асинхронном двигателе. Падение напряжение было вызвано большим пусковым током который потребляет двигатель при запуске. Колебание напряжение также было скомпенсировано.

4) Ток статора на первом и втором асинхронных двигателях уменьшился по сравнению со *STATCOM*.

5) Время переходного процесса не изменилось.

Анализ полученных результатов представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Средние значения $U, I_{\text{п}}, Q$

Реализованная схема	№ асинхронного двигателя	U, В	$I_{\text{п}}$ двигателей, А	Q, ВАр
Асинхронный двигатель с использованием СТАТКом	I	5350	1200	$6,5 \cdot 10^6$
	II	5150	1150	$6,2 \cdot 10^6$
Асинхронный двигатель с использованием батареи статических конденсаторов	I	4900	920	$7,2 \cdot 10^6$
	II	4950	950	$7 \cdot 10^6$
Асинхронный двигатель с использованием активных шунтирующих фильтров	I	5200	920	$6,8 \cdot 10^6$
	II	5250	840	$6,9 \cdot 10^6$

Таблица 2

Степень компенсации реактивной мощности

Реализованная схема	№ асинхронного двигателя	Q, ВАр
Статический компенсатор	I	$-4,1 \cdot 10^6$

	II	$-3,8 \cdot 10^6$
Батареи статических конденсаторов	I	$-2,8 \cdot 10^6$
	II	$-3 \cdot 10^6$
Шунтирующие активные фильтры	I	$-3,7 \cdot 10^6$
	II	$-3,1 \cdot 10^6$

При использовании устройства батареи статических конденсаторов, время пуска первого двигателя составляло 3,75 секунды, а второго 4,1 секунды. В реализованной схеме с шунтирующим активным фильтром время пуска двигателя осталось без изменений и составляло на первом асинхронном двигателе 4,25 секунд, а на втором 4,7 секунд. У *STATCOM* же, время пуска двигателя составляло 2,15 секунды на первом асинхронном двигателе и 2,4 на втором.

Наименьшее влияние на электрическую сеть наблюдалось в случае использования БСК, уровень напряжения в случае использования батарей статических конденсаторов практически не вырос, на первом асинхронном двигателе напряжение составляло 4900 В, на втором 4950 В, не наблюдалось значительных посадок напряжения. Наибольшее изменение напряжения наблюдалось в схеме с использованием *STATCOM*, на первом двигателе наблюдалось напряжение 5350 В. а на втором 5150 В. В реализованной схеме с использованием шунтирующих активных фильтров, напряжение на первом асинхронном двигателе составляло 5200 В. а на втором двигателе 5250 В, однако активные фильтры скомпенсировали кратковременное колебание напряжение вызванное переходным процессом и сам переходный процесс происходил более равномерно по сравнению с конкурентами. Стоит отметить что напряжение сети на первом и втором двигателе оставались близкими к паспортным значениям во всех случаях. Пусковые токи также были близкими к паспортным значениям.

Токи статора в схеме со *STATCOM* оказались большими чем в других схемах, на первом двигателе наблюдалось значение 1200 А, на втором 1150 А, также наблюдались посадки токов на первом асинхронном двигателе вызванные влиянием пуска второго двигателя. В схеме с шунтирующим активным фильтром наблюдались меньшие токи и влияние второго асинхронного двигателя на первый было уменьшено. В случае с батареями статических конденсаторов токи статора так же были меньше чем в *STATCOM*, однако влияние второго асинхронного двигателя были больше на 100 А.

Наибольший уровень компенсации был замечен в схеме с использованием *STATCOM*, на первом двигателе $Q = 6,5 \cdot 10^6$ ВАр удалось скомпенсировать $Q = -4,1 \cdot 10^6$ ВАр на втором же двигателе при значении $Q = 6,2 \cdot 10^6$ ВАр удалось скомпенсировать $Q = -3,8 \cdot 10^6$ ВАр. Наиболее худшим устройством для компенсации реактивной мощности оказались батареи статических конденсаторов.

Библиографический список

1. Active Power Line Conditioners//Patricio Salmeron Revuelta, Salvador Pérez, 2016. – P. 145–151.
2. Активные фильтры гармоник как средство повышения качества электроэнергии [электронный ресурс]. URL: <https://www.energy-t.ru/about/articles/aktivnyij-filtr-garmonik-kak-sredstvo-povysheniya-kachestva-elektricheskoy-energii.html>. (дата обращения 12.11.2024)
3. Зобов И., Малышев Д. Активные фильтры. Практика компенсации реактивной мощности// Публикации специалистов инженерного центра «АРТ», 2020. – №6 (126).
4. Review of active power filter technologies/ Zainal Salam, Perng Cheng Tan, Awang Jusoh// [электронный ресурс] – URL: https://www.researchgate.net/publication/49910417_Active_power_filter_technologies. (дата обращения 12.11.2024)
5. Руди Д.Ю., Горелов С.В., Руппель А.А. Анализ использования активных фильтров гармоник в электроэнергетических системах// Молодой ученый. 2020. – № 15 (305). – С. 124-128. – URL: <https://moluch.ru/archive/305/68648/> (дата обращения: 13.11.2024).
6. Активные фильтры. Практика компенсации реактивной мощности [электронный ресурс]–URL: <https://eleexpo.com/i-section/article/item/380-practice-of-reactive-power-compensation> (дата обращения 13.11.2024)
7. Активные и пассивные фильтры гармоник – применение, проблемы и тенденции [электронный ресурс] – URL: <https://khomovelectro.ru/articles/aktivnyie-i-passivnyie-filtry-garmonik-primenenie-problemy-i-tendentsii.html> (дата обращения 13.11.2024)
8. ФКУ (ДФКУ) [электронный справочник] – URL: <https://www.kondensator.su/kondensatornye-ustanovki/silovye-filtry-vyshshikh-garmonik.html> (дата обращения 13.11.2024)
9. Недостатки активных фильтров [электронный ресурс] – URL: <https://studfile.net/preview/1815618/page:3/> (дата обращения 13.11.2024)
10. Активные фильтры как средство обеспечения качества электроэнергии [электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktivnyy-filtr-kak-tehnicheskoe-sredstvo-obespecheniya-kachestva-elektroenergii> (дата обращения 13.11.2024)

© Сергеев А.В., Гареев Р.И., 2024

УДК 621.313.292

А.Е. СИЛАНТЬЕВ

arsenya_silantev@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **М.Б. ГАРЕЕВА**

СРАВНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ТРАДИЦИОННЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Аннотация: в работе рассматривается сравнительный анализ традиционных двигателей постоянного тока (ДПТ) и бесконтактных двигателей постоянного тока (*BLDC*).

Ключевые слова: двигатели постоянного тока, бесконтактные двигатели постоянного тока, *BLDC*.

Введение

Современные технологии стремительно развиваются, и прогресс в области электродвигателей занимает в этом процессе важное место. На протяжении длительного времени двигатели постоянного тока (ДПТ) находили применение в различных сферах благодаря своей простоте, надежности и способности поддерживать стабильную скорость вращения при изменении нагрузки. Однако с развитием технологий возникла более современная альтернатива — бесконтактные двигатели постоянного тока (*BLDC*), которые имеют ряд преимуществ перед традиционными двигателями. Цель данной исследовательской работы — рассмотреть и сравнить традиционные двигатели постоянного тока и бесконтактные двигатели в контексте их принципа работы, эффективности, конструкции и применения.

Традиционные двигатели постоянного тока

Традиционные двигатели постоянного тока представляют собой электромеханические агрегаты, которые преобразуют электрическую энергию в механическую работу через взаимодействие магнитных полей. Основными компонентами конструкции этих двигателей являются якорь, коллектор, стационарные магниты или электромагниты (статор) и обмотка ротора.

Конструкция и принцип работы: традиционный двигатель постоянного тока состоит из вращающегося якоря и неподвижного статора. Электрическая энергия подается на обмотки якоря через щетки и коллектор, создавая магнитное поле, которое взаимодействует с полем статора, вызывая поворот ротора с дальнейшей сменой направления магнитного поля.

Достоинства и недостатки: несмотря на простоту и надежность, двигатели постоянного тока имеют свои ограничения. Щетки и коллектор подвержены износу, что ограничивает срок службы двигателя и требует регулярного технического обслуживания. Такие двигатели также склонны к искрению и высоким шумам.

Бесконтактные двигатели постоянного тока (*BLDC*)

Бесконтактные двигатели постоянного тока являются модернизированной версией двигателей с коллектором и щетками, в которых данные элементы отсутствуют. Вместо них применяется система датчиков и электронное управление для функционирования двигателя.

Конструкция и принцип работы: в двигателе BLDC магнитные элементы, как правило, размещаются на роторе, в то время как фазные обмотки располагаются на статоре. Вращение ротора осуществляется благодаря электронной коммутации, которая контролируется микроконтроллером. По мере того как ротор поворачивается, вектор его магнитного поля поворачивается по направлению магнитного поля статора. Для определения положения ротора обычно используют датчики Холла обеспечивают высокую точность позиционирования.

Преимущества и недостатки: основное преимущество *BLDC* двигателей – их высокая надежность, длительный срок службы без необходимости технического обслуживания, так как отсутствуют изнашиваемые части, такие как щетки, низкий уровень шума. Они также более эффективны и обеспечивают более высокую мощность и крутящий момент. Также потребления тока у таких двигателей ниже, в виду того, что нет механических контактов и потерь энергии. Однако сложность конструкции и необходимость в электронном управлении делают их более дорогими в производстве и эксплуатации.

Сравнительный анализ

Эффективность. *BLDC* двигатели превосходят традиционные ДПТ по энергоэффективности благодаря меньшим потерям на трение и нагрев. Они имеют более широкий диапазон скоростей и низкое потребление энергии в режиме холостого хода. Кроме того, благодаря отсутствию механического контакта, *BLDC* двигатели снижают механические потери и обеспечивают более плавную работу и точное управление скоростью.

Применение. Традиционные двигатели чаще находят применение в простых системах и устройствах, где важна низкая стоимость и отсутствие сложного управления, таких как вентиляторы, насосы и бытовая техника. Простота конструкции делает их легкодоступными и дешёвыми в обслуживании. В то же время, *BLDC* двигатели используются в высокотехнологичных областях, таких как электромобили, беспилотные летательные аппараты и медицинское оборудование, где важны высокая эффективность, малые габариты и точное управление. *BLDC* двигатели также находят широкое применение в промышленной автоматике и робототехнике благодаря своей способности работать на высоких скоростях и под большой нагрузкой.

Устойчивость и экологичность. Отсутствие коллекторов и щеток в бесколлекторных двигателях постоянного тока (*BLDC*) способствует уменьшению выбросов угольной пыли, что делает их более экологически безопасными и менее вредными для здоровья при эксплуатации в закрытых помещениях. Кроме того, повышенная энергоэффективность этих двигателей позволяет снизить энергетические затраты и уменьшить углеродный след, что имеет особое значение в условиях современных экологических стандартов и требований по сокращению выбросов. В то же время, двигатели постоянного

тока, хотя и менее экологичны, остаются востребованными в отраслях, где вопросы экологии не служат главной задачей.

Таким образом, для выбора между традиционными и бесконтактными двигателями постоянного тока необходимо учитывать особенности использования, финансовые возможности и требования к надежности системы. При этом стремление к уменьшению энергопотребления и повышению экологичности делает *BLDC* двигатели более перспективным выбором в долгосрочной перспективе.

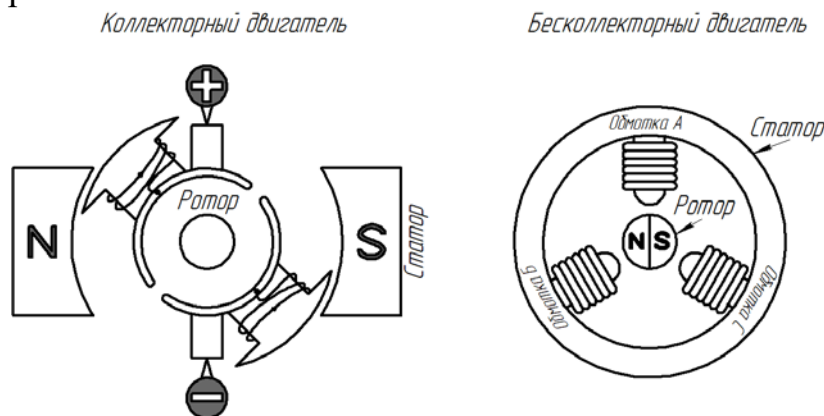


Рис. 1. Конструкции двигателей

Заключение

Бесконтактные двигатели постоянного тока являются важным шагом вперед в эволюции электродвигателей, предлагая высокую надежность, эффективность и экологическую безопасность. Несмотря на то, что их стоимость и сложность управления могут сдерживать применение в определенных сферах, они все больше привлекают внимание благодаря множеству своих преимуществ. В будущем можно ожидать дальнейшего улучшения технологий *BLDC* двигателей, что приведет к их более широкому использованию в различных сферах человеческой деятельности.

Библиографический список

1. Пол К. Краузе, Анализ электрических машин и приводных систем: учебное пособие / Paul C. Krause. – New York, 2002. – 632 с.
2. Кендзо Т. и Нагамори С., Двигатели постоянного тока с постоянными магнитами и бесщеточные двигатели постоянного тока: учебное пособие / Kenjo T. and Nagamori S. – Oxford, United Kingdom, 1986. – 194 с.
3. Есихидэ Хасэ и Эгон Фогт, Обобщенная теория электрических машин: учебное пособие / Yoshihide Hase and Egon Vogt – India, Delhi, 2021. – 872 с.

© Силантьев А.Е., 2024

УДК 621.314

С.П. СИМОНОВ

simonov.sergej1@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **А.В. ЛОБАНОВ**

Уфимский университет науки и технологий

СИЛОВОЙ ТРАНСФОРМАТОР В СОСТАВЕ АГРЕГАТА ПЛАЗМЕННОГО ЗАЖИГАНИЯ

Аннотация: в статье рассматривается конструкция силового трансформатора, используемого в агрегатах плазменного зажигания. Описаны основные принципы работы силовых трансформаторов, их роль в обеспечении стабильной работы системы зажигания, а также влияние различных конструктивных параметров на эффективность и надежность устройства. Особое внимание уделено вопросам проектирования и оптимизации трансформаторов для использования в специфических условиях работы агрегатов плазменного зажигания.

Ключевые слова: агрегат зажигания, силовой трансформатор.

Введение

Агрегаты плазменного зажигания (АПЗ) представляют собой сложные технические устройства, предназначенные для создания высокотемпературной электрической дуги, которая используется для воспламенения топливовоздушных смесей в двигателях внутреннего сгорания, печах и других тепловых установках. Одним из ключевых компонентов АПЗ является силовой трансформатор (СТ), который обеспечивает преобразование напряжения сети в высокое напряжение, необходимое для формирования и поддержания электрической дуги.

Принципы работы силового трансформатора

Силовой трансформатор представляет собой электромагнитное устройство, состоящее из первичной и вторичной обмоток, размещенных на общем магнитопроводе. При подаче переменного тока на первичную обмотку создается переменное магнитное поле, которое индуцирует ЭДС во вторичной обмотке. Величина этого напряжения зависит от коэффициента трансформации, который определяется отношением числа витков вторичной и первичной обмоток.

Для обеспечения стабильности работы системы плазменного зажигания необходимо, чтобы СТ обеспечивал высокую точность преобразования напряжения и минимальные потери энергии. Это достигается за счет правильного выбора материалов для изготовления сердечника и обмоток, а также оптимальной геометрии трансформатора.

Роль силового трансформатора в системе зажигания

Основной задачей силового трансформатора является обеспечение высокого напряжения, необходимого для пробоя межэлектродного промежутка и формирования начальной искры. После образования искры СТ должен поддерживать стабильную работу дугового разряда, обеспечивая необходимую мощность и стабильность процесса горения.

Кроме того, СТ играет важную роль в защите системы от перегрузок и коротких замыканий. Для этого используются различные схемы защиты, включая автоматические выключатели, предохранители и ограничительные резисторы.

Конструктивные особенности силового трансформатора

Конструкции силовых трансформаторов могут значительно различаться в зависимости от конкретных требований к системе зажигания. Основными параметрами, определяющими конструкцию СТ, являются:

- Мощность: определяет максимальный ток, который может быть передан через трансформатор без перегрева;
- Коэффициент трансформации: отношение напряжений на входе и выходе трансформатора;
- Частота: частота питающего напряжения, на которую рассчитан трансформатор;
- Класс изоляции: определяет степень защиты трансформатора от внешних воздействий (влажности, температуры, механических повреждений).

При проектировании СТ для применения в агрегатах плазменного зажигания особое внимание уделяется выбору материалов для сердечников и обмоточных проводов. Сердечники обычно изготавливаются из электротехнической стали или ферритов, обладающих высокой магнитной проницаемостью и низкими потерями на гистерезис. Обмоточные провода должны обладать хорошей изоляционной способностью и устойчивостью к высоким температурам.

Оптимизация конструкции силового трансформатора

Оптимизация конструкции силового трансформатора включает в себя следующие аспекты:

1. Минимизация потерь мощности: использование высококачественных материалов и улучшение конструкции сердечников позволяет снизить потери на гистерезис и вихревые токи.
2. Увеличение КПД: правильный выбор соотношения между числом витков первичной и вторичной обмотки помогает повысить коэффициент полезного действия трансформатора.
3. Повышение надежности: применение современных методов расчета и моделирования позволяет создать более надежные и долговечные конструкции.
4. Снижение массы и габаритов: использование новых технологий и материалов позволяет уменьшить размеры и вес трансформатора при сохранении его функциональных характеристик.

Заключение

Силовой трансформатор является ключевым элементом агрегатов плазменного зажигания, обеспечивающим стабильную и надежную работу системы. Правильный выбор конструкции и материалов, а также оптимизация параметров трансформатора позволяют существенно улучшить характеристики всей системы зажигания, увеличить ее ресурс и снизить эксплуатационные расходы.

Библиографический список

1. Иванов И.И., Петров А.А. "Проектирование и расчет силовых трансформаторов". Москва, Энергия, 2015.
2. Сидоров С.В., Кузнецов Н.Н. "Современные технологии производства силовых трансформаторов". Санкт-Петербург, Политехника, 2020.
3. Смирнов А.П., Васильев П.С. "Электротехнические материалы и изделия". Новосибирск, Наука, 2008.
4. Федоров Г.М., Морозов Е.Д. "Основы теории электрических машин". Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 1999.

© Симонов С.П., 2024

УДК 621.3.048

С.С. СТОЛБКОВ

stas.stolbkov.02@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **М.Б. ГАРЕЕВА**

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ЛЕНТ В СТАТОРНОЙ ОБМОТКЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация: в данной работе рассмотрены основные известные материалы изоляционных лент, найдены актуальные примеры их использования, сделаны выводы о текущей и дальнейшей эксплуатации.

Ключевые слова: изоляционная лента, обмотка, микалента, стеклолента, слюдитовая лента.

Введение

Надежность и долговечность электродвигателей во многом зависят от качества используемых материалов, среди которых особое место занимают изоляционные ленты. Эти ленты используются в статорных обмотках электродвигателей, обеспечивая защиту от влаги, высокой температуры механических повреждений и электрических пробоев. В зависимости от назначения электродвигателя и условий его работы требуемые характеристики

изоляции могут сильно варьироваться. Далее в работе рассмотрены используемые существующие варианты изоляционных лент.

Микалента

Микалента — трехслойная изоляционная лента. Состоит из специальной тонкой хлопковой (микалентной) бумаги или стеклоленты, склеенной с несколькими слоями слюды с помощью лака. Основное назначение — компаундированная изоляция: несколько слоев намотанной микаленты в вакууме пропитывают нагретым битумным компаундом, после чего обмотку спрессовывают и оставляют остывать. Маркировка и технические требования для микаленты, используемой в качестве электроизоляционного материала в статорной обмотке электродвигателей установлены согласно ГОСТ 4268-75.

Например, микалента ЛМЧ-ББ 0.15 20 мм обладает высокой гибкостью и высокими электроизоляционными свойствами (рис. 1). Состоит из битумного лака и двух бумажных подложек. Она обладает следующими характеристиками: максимально допустимая рабочая температура: 105 °С; массовая доля слюды: 45%; электрическая прочность не менее: 23-25 кВ/мм.



Рис. 16. Микалента ЛМЧ-ББ

Стеклолента

Существуют ленты типа ЛЭС и ЛЭСБ. Стеклолента ЛЭС изготавливается на бесчелночных станках из стеклянных крученых нитей. В отличие от ЛЭСБ не имеет кромок и утолщений по краям, поэтому не распускается и более пригодна к автоматизированной намотке. Стеклолента ЛЭСБ производится на челночных станках методом полотняного переплетения. В отличие от ЛЭС для изготовления ЛЭСБ используются нити с большей плотностью, но в меньшем количестве, что делает их дешевле в производстве чем ЛЭС и позволяет выдерживать большую нагрузку. Ленты из стекловолокна ввиду характеристик материала имеют малый вес и толщину, высокую прочность, упругость, пластичность, влагостойкость и устойчивость к горению, а изоляционные свойства значительно превосходят ленты на основе хлопчатобумажных или органических волокон. Стеклоленты применяются не только для электроизоляции обмоток электродвигателей, но и для создания других изоляционных лент с помощью пропитки.

Стеклоленты, используемые для обмоток электрических создаются согласно ГОСТ 5937-81.

Слюдинитовая лента

Слюдинитовая лента представляет из себя изготовленную из слюды (слюдинитовую) бумагу и нескольких слоев подложки из стеклоленты или

стеклоткани. Благодаря свойствам слюды, диэлектрические характеристики слюдинитовой ленты повышены, но прочность понижена. Малый вес ленты позволяет сохранить мощность машины без значительного увеличения ее веса. Из слюдинитовых лент, пропитанных составами из эпоксидных или полиэфирных смол создается терморезистивная изоляция. Такая изоляция отличается от микалентной более высокими электрическими и механическими характеристиками, благодаря тому что изоляция не размягчается при высокой температуре, сохраняя высокую механическую и электрическую прочность. Такая изоляция применяется в статорных обмотках двигателей высокого напряжения. По ГОСТ 26103-84 ленты разных марок различаются классом нагревостойкости (В и F) и диэлектрическими показателями. Размер слюдинитовой ленты зависит от вида изолировки (ручная или механическая)

Например, лента слюдинитовая ЛСУ обладает высокой эластичностью пробивным напряжением (рис. 2). Состав: слюдяная бумага, стеклоткань, эпоксидная смола. Класс нагревостойкости – «F» (155 °С). Используется для статорной обмотки электродвигателей. Возможна замена микаленты с классом нагревостойкости «F».



Рис. 17. Лента слюдинитовая ЛСУ

Заключение

В статье рассмотрены некоторые из возможных вариантов используемых изоляционных лент. Рассмотрены их разновидности, состав и характеристики. Проведенный обзор демонстрирует, что выбор подходящей ленты зависит от множества факторов, таких как температура эксплуатации, механические нагрузки и условия окружающей среды.

В дальнейшем, стоит сосредоточиться на внедрении инновационных решений и методик контроля качества изоляционных материалов, что позволит обеспечить высокие стандарты безопасности и эффективности в производстве и эксплуатации электродвигателей.

Библиографический список

1. Виноградов Н.В. Обмотчик электрических машин, изд. 7 / Н.В. Виноградов. – Издательство "Высшая школа", Москва, 1969 г. – 223 с.
2. Соловьев В.В. Изоляция электроустановок / В.В. Соловьев – Издательство АмГУ, Благовещенск, 2014 г. – 100 с.

3. Черемисинов Ю.Г., Курпенев Б.К. Изоляция электрооборудования и электроустановок высокого напряжения / Ю.Г. Черемисинов, Б.К. Курпенев – Издательство «Алматинский университет энергетики и связи» Алматы: АУЭС, 2017. - 73 с.

4. «Kehu Electric» [Электронный ресурс]. URL: <https://kehu.ru/> (Дата обращения: 05.11.2024 г.)

5. «ИзолитПром» [Электронный ресурс]. URL: <https://sludoplast.ru/product-category/lenty-elektroizolyaczionnye/lenta-slyudinitovaya> (Дата обращения: 08.11.2024 г.)

6. «Нижегородэлектрозашита» [Электронный ресурс]. URL: <https://neznn.ru/katalog/lenta-slyudinitovaya> (Дата обращения 05.11.2024)

7. «Урал изолит» [Электронный ресурс]. URL: <https://ural-izolit.ru/>

8. «Электро изолит» [Электронный ресурс]. URL: <https://el-iz.ru/lenta-slyudinitovaya-vysokonagrevostoykaya-lskv> (Дата обращения: 08.11.2024 г.)

© Столбков С.С., 2024

УДК 621.313

Р.А. ФИЛИППОВ

romafill31@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **З.Г. ГАБИДУЛЛИНА**

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ В ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЯХ

Аннотация: в статье анализируются преимущества и перспективы использования гибридных двигателей в грузовом транспорте, рассмотрены виды гибридов и принципы их работы.

Ключевые слова: гибридный двигатель, гибридный электрический транспорт, двигатель внутреннего сгорания.

В настоящее время автомобильный парк и, отметим особо, входящая в него линейка грузовых автомобилей, демонстрируют несомненное и безусловное развитие, нарастающее в геометрической пропорции.

Этим они направляют цивилизацию на курс роста топливного потребления. Данный ресурс является настолько важным в масштабах мировой хозяйственной деятельности, реального сектора производства, что государства мира все больше используют ТЭК (топливно-энергетический комплекс) как орудие рыночного давления на политику соседей. А кроме того – как фундаментальное основание развития хозяйства в своей стране.

Эта угроза, а также очевидный экологический вред, который приносят выбросы продуктов сгорания, геологической разведки новых топливных месторождений ведут к определенным выводам. Прежде всего – поиску альтернативы традиционным горючим материалам как для защиты национальных интересов, так и для снижения нагрузки на природу. Тема энергетической хай-тек альтернативы как никогда злободневна в наши дни.

Определился и явный фаворит этой технологической гонки за будущим – развитие электромобилей, как принципиально нового вида автотранспорта.

Но проектирование, разработка и запуск электротяги в сфере грузового транспорта, как выяснилось, содержит в себе множество «подводных камней» как технологического, так и экономического свойства. Ведь дизельный транспорт пока очевидным образом эффективнее по части оптимизации трансмиссии. Он гарантирует как снижение веса, так и стоимости грузовика относительно электрического аналога. Заправка дизеля быстрее и привычнее для его пользователей. А запас хода – пока явно превышает электроаналоги.

При попытках увеличить этот запас батареи с огромным запасом энергии сильно утяжеляют автомобиль, и ведут к уменьшению грузовой полезности, то есть экономической целесообразности самой поездки.

Если мы говорим о состоянии НИОКР на настоящий момент, то электрический автосамосвал, например, теряет около тонны полезной нагрузки по отношению к своему дизельному конкуренту.

Чтобы решить этот вопрос, разработчики предложили проект автосамосвала с гибридной силовой установкой, чтобы сберечь запас хода, максимальную массу груза, и сократить затраты горючего, а стало быть – и выхлопы в окружающую среду.

Смело можно сказать, что удорожание традиционных видов топлива работает на развитие электротранспортных аналогов, но при этом громоздкий размер и критические потери массы перевозки при установке батарей на электромобилях тормозят такие разработки. Потому «гибрид» выступает как бы «золотой серединой» для конкурирующих конструкторских бюро, позволяет сохранить положительные свойства как дизельного, так и электрического двигателей.

В итоге именно «гибридные разработки» одна из самых многообещающих стратегий в автомобилестроении.

«Гибридным» мы называем автотранспорт, сочетающий два или более источников двигательной активности. В данной статье мы рассматриваем лишь одно из перспективных направлений в этой сфере: бензиново-электрические гибридные грузовики; их двигатель сочетает в себе свойства как двигателя внутреннего сгорания, так и электромотора. Данное соединение дает им возможность функционировать и вместе, и порознь (т.е. комбинированно).

В настоящее время представлены несколько типовых схем устройства автомобилей-гибридов.

Во-первых, это мягкий или умеренный гибрид. В этих машинах электрический двигатель используется только как дополнительный ресурс, при том, что основную тягу берет двигатель внутреннего сгорания (ДВС); благодаря этому существенно уменьшается изнашивание двигателя, сокращается расход горючего в сложных условиях использования. При этом отметим: на одной лишь электротяге ехать в этом случае не получится. Размещение конденсаторов или компактных батарей в качестве источников электрического питания помогают снижению потребления топлива на 15-25%, но это предел возможностей «мягкого гибрида».

Во-вторых, так называемый «параллельный гибрид». Данная система дает возможность грузовику ехать в благоприятных для этого условиях на одной лишь электротяге. При этом ДВС используется как резервный и для «подстраховки» грузоперевозок. Данный проект существенно и кардинально упрощает дело, благодаря размещению двух разных типов двигателя на разные оси. Из-за такого оригинального конструкторского решения уменьшается сжигание топлива, нарастают такие полезные качества, как проходимость и управляемость.

В-третьих, мы говорим о так называемом «последовательном» типе. Он дает возможность грузовику преодолевать до 150-200 км на одной лишь электротяге. ДВС в этом автомобиле не подключен к колесам напрямую. Его

назначение выполнять функции генератора в случае, если аккумулятор по той или иной причине разрядился. Данное проектное решение радикально снижает сжигание горючего: норма 1,5-3,5 л на 100 км становится вполне реалистичной, что открывает огромные, как экономические, так и экологические перспективы.

В-четвертых, параллельно-последовательный двигатель гибридного автомобиля объединяет в себе все преимущества ранее обозначенных нами двух технологий. В параллельно-последовательных грузовиках ДВС служит для вращения генератора, заряжая тем самым батарею. При резкой нагрузке на автомобиль автономное действие электромотора берет на себя главную часть.

Отметим, что в работе гибридных аналогов двигатель грузовика не подвержен критическим нагрузкам, из-за чего сжигает значительно меньше горючего. Кроме этого, электрический мотор берет на себя долю нагрузки, создающуюся при переходных режимах. Этим снижается негативное влияние переходных режимов на исправность и амортизацию как двигателя, так и трансмиссии. Двигатель «гибридов» дает возможность устранить из конструкции дорогостоящие и очень объемные, занимающие много места коробки переключения скоростей, карданной передачи и дифференциалы угловой скорости вращения поворачиваемых колес. Такой эффект достигим за счет простоты схемы мотора гибрида, что к тому же облегчает его производство и эксплуатацию.

Генератор и аккумулятор в гибридном автомобиле подключаются к системе вращения колес, и это дает дополнительный силовой ресурс установке. Быстрый набор и поддержание скорости определяется за счет оптимизированного распределения мощности.

Гибриды дают возможность возратить значительную долю потраченной энергии, используя часть затраченной энергии при рекуперативном торможении, давая большую эффективность эксплуатации мотора.

Такие уникальные качества гарантируют высокий КПД (80-85%), а это значительно выше, чем КПД ДВ (30-35%).

Конструктивные особенности «гибрида» создают не только эффективность, простоту и экономичность, но и способствуют сохранению окружающей среды. Анализируя итоги официальных тестов, можно и нужно отметить, что подключение «гибрида» дает сокращение вредных выбросов более чем на треть, а при условии, что аккумулятор будет исправно заряжаться не только от ДВС, но и от сети, можно обеспечить и еще большую экологическую привлекательность проекта.

Экологические требования к ДВС в развитых странах день ото дня усложняются, совершенствуются, что, разумеется, предсказуемо наращивает его цену и делает его производство технологически сложнее. А это дает нам уверенность, что оснащенность гибридным транспортом станет с годами все более и более выгодной. В условиях отсутствия специфической инфраструктуры «гибрид» становится единственной перспективой, чья актуальность с годами только растет.

Основным классификационным признаком гибридной силовой установки является вид энергии, который используют в силовой установке, функционирующей в связке с традиционным поршневым ДВС. На сегодняшний день выделяют два главных типа: электрические и механические «гибриды».

Силовая установка в механическом «гибриде» использует сосуды, функционирующие под давлением (пневматические аккумуляторы), чтобы накапливать энергию. Их огромные габариты и технические трудности при преобразовании энергии в рамках рекуперации упрощают их эксплуатацию на маломерных мобильных установках.

Долгие и основательные исследования и проектирование, внедрение гибридных силовых установок позволяют доказать, что для самой эффективной рекуперации необходимо использовать преобразование энергии вращения в электрическую.

Поэтому самое широкое распространение получили в наши дни именно электрические гибридные силовые установки. При этом, хотя индустрия такого рода автомобилей почти полностью сформировалась, до сих пор в технической литературе еще не выработано общего подхода к классификации основных компонентных схем.

Библиографический список

1. Захаров, Е.А. Экологическая безопасность автомобильного транспорта: учеб. пособие / Е.А. Захаров, С.Н. Шумский, Ю.В. Левин. – Волгоград: ВолгГТУ, 2023. – 128 с. – ISBN 978-5-9948-3182-3.
2. Статистика производства новых автомобилей в 2020–2022 годах: интернет-портал [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://auto.vercity.ru/statistics/production/2021/>. (дата обращения 29.10.2024).
3. Аджиманбетов, С.Б. Стартерные и гибридные силовые установки автомобилей: монография / С.Б. Аджиманбетов. – Владикавказ: Издательство ФГБОУ ВО «Горский госагроуниверситет», 2022. – 176 с. [ЭБС «Лань»].
4. Говорущенко, Н. Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 2020. – 135 с.
5. Раков, В.А. Методика оценки технического состояния гибридных силовых установок автомобилей: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / В.А. Раков. – Вологда, 2020. – 169 с.
6. Сведения о продажах новых гибридных автомобилей [Электронный ресурс] // Сайт гибридных автомобилей. – Режим доступа: <http://www.hybridcars.com/news/march-2012-dashboard-44059.html>.
7. Carbon dioxide emissions from plug-in hybrid cars analysis from pressure groups Transport and Environment and Greenpeace [Электронный ресурс]. – URL: <https://co2coalition.org/news/plug-in-hybrids-are-a-wolf-in-sheeps-clothing/> (дата обращения 05.11.2024).

8. Официальный сайт компании АО «Русэлпром» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ruselprom.ru/products/vysokovoltnye-elektrodivigateli/dta-380-buhl1/> (дата обращения 01.11.2024).

9. Бахмутов С.В. Конструктивные схемы автомобилей с гибридными силовыми установками: учеб. пособие / С.В. Бахмутов, А.Л. Карунин, А.В. Круташов [и др.]. – М.: МГТУ «МАМИ», 2022. – 71 с.

10. Тарасов П.И. Обоснование путей развития транспортных средств для освоения северных территорий России. Материалы XII Международной научно-практической конференции «Проблемы карьерного транспорта» / ИГД УрО РАН. – Екатеринбург: УрО РАН, 2019. – С. 137–151.

11. Селифонов В.В., Круташов А.В., Баулина Е.Е. Электромобиль особо малого класса с гибридной энергетической установкой / В.В. Селифонов, А.В. Круташов, Е.Е. Баулина // Автотракторное электрооборудование. – 2004. - №9. – С. 20–22.

© Филиппов Р.А., 2024

УДК 621.313

Ф.Р. ХИСАМУТДИНОВ

Khislamutdinov.fanur@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент **Д.Ю. ПАШАЛИ**

Уфимский университет науки и технологий

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ДЕТСКОЙ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКИ

Аннотация: в данном исследовании анализируется двигатель постоянного тока как важнейший элемент электрической системы детской инвалидной коляски. Рассматриваются ключевые технические характеристики данных двигателей, их значимость для обеспечения передвижения коляски, а также влияние на комфорт и безопасность ребёнка-пользователя. Также затрагиваются аспекты эффективности, надёжности и долговечности этих двигателей в условиях постоянной эксплуатации.

Ключевые слова: инвалидная коляска, двигатель постоянного тока, электродвигатель

Актуальность усовершенствования конструкций детских инвалидных колясок (ДИК) обуславливается не только необходимостью повышения качества жизни детей с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ), но и желанием создать более безопасные и удобные средства для их передвижения.

Научная работа выполнена в рамках программы «Обучение служением». ДИК разрабатывается для использования в ГБОУ «Уфимская

коррекционная *школа-интернат № 13* для обучающихся с нарушениями опорно-двигательного аппарата».

Двигатели постоянного тока (ДПТ) [2] являются многообещающим вариантом для применения в инвалидных колясках. Они обладают рядом достоинств, таких как:

- простота в управлении,
- высокая эффективность,
- возможность точной регулировки скорости,
- легкость и бесшумность работы,
- маневренность.

Автором было проведено исследование, целью которого стал анализ конструкций двигателей [1] для выбора прототипа, специально адаптированного для использования в детских инвалидных колясках. Внешний вид конструкции инвалидной коляски с электроприводом представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Инвалидная коляска с электродвигателем

Двигатели для ДИК можно классифицировать на два основных типа: коллекторно-щеточные двигатели (ДПТ) и бесколлекторные ДПТ. Основным недостатком коллекторно-щеточных двигателей является необходимость регулярного обслуживания и замены щеток, что может вызывать неудобства у пользователей.

С другой стороны, бесколлекторные ДПТ, хотя и более дорогие, обладают рядом преимуществ:

- значительно большим сроком службы;
- упрощённым обслуживанием.

Эти двигатели требуют меньшего внимания, что делает их более привлекательными для пользователей. Тем не менее, их высокая цена может стать преградой для некоторых потребителей. Также стоит отметить, что установка и настройка бесколлекторных двигателей могут быть более сложными, требуя дополнительных навыков и знаний.

На рисунке 2 представлен внешний вид выбранного прототипа ДПТ, а технические характеристики можно найти в таблице 1.1.



Рис. 2. Внешний вид ДПТ, выбранного за прототип разработки, для детских инвалидных колясок

Таблица 1

Технические характеристики прототипа

Модел ь	Номинал ьная мощност ь	Номинал ьная скорост ь	Скорост ь Разгрузк и/ RPM	Номинал ьный ток	Номинал ьный крутящи й момент	Эффектив ность	Используй вание
МУ10 16Z	24 В постоянн ого тока	2400 об/мин	75 ОБ/мин	$\leq 14,8$	0,98Н. М	$\geq 70\%$	Электродви гатель для инвалидных колясок

Был представлен внешний вид ДПТ, выбранного в качестве прототипа для разработки, а также его технические характеристики. Проведено исследование требований к ДПТ для ДИК, в результате которого установлено следующее:

- двигатель должен гарантировать необходимую мощность и крутящий момент для преодоления различных дорожных условий, включая подъёмы, спуски и неровности. Это критически важно для обеспечения безопасности и комфорта пользователя;

- двигатель должен обеспечивать требуемую скорость и манёвренность, поскольку возможность регулировки этих параметров позволяет адаптировать ДИК под индивидуальные потребности пользователя (высокая скорость будет полезна на ровных участках, тогда как низкая скорость предпочтительна на сложных участках пути).

- ДПТ должны быть изготовлены из высококачественных материалов и обладать прочной конструкцией, что гарантирует длительный срок эксплуатации и снижает вероятность поломок;

- система управления двигателем должна быть понятной и удобной для пользователя, обеспечивая легкость в переключении скоростей и контроле направления движения;
 - двигатель должен эффективно расходовать энергию аккумуляторной батареи, что позволяет увеличить время работы ДИК без необходимости подзарядки;
 - двигатель должен быть оснащён системами безопасности, такими как защита от перегрева и перегрузки, чтобы избежать возможных аварий и повреждений;
 - двигатель должен быть совместим с другими элементами коляски, такими как колёса и система подвески, для достижения оптимальной производительности и удобства в использовании;
 - уровень шума двигателя должен быть минимальным, что способствует комфортному взаимодействию пользователя и окружающих.
 - Двигатель должен иметь компактную конструкцию и сниженные массогабаритные параметры, что обеспечит большую манёвренность ДИК и упростит её транспортировку;
 - Стоимость двигателя должна соответствовать его качеству и функциональности, обеспечивая оптимальное соотношение цены и качества.
- В результате выполненной работы был выбран прототип разработки, установлены требования к конструкции, определены его основные технические характеристики и проведён электромагнитный расчёт.

Библиографический список

1. Петрова И.В. Конструирование колясок для детей с ограниченными возможностями // Адаптивная физическая культура. – 2020. – № 4. – с. 38–45.
2. Соловьёв А.С. Электрические двигатели постоянного тока: теория и практика // Электротехника. – 2018. – № 3. – С. 15–23. Источник с 2019
3. Ярошенко Д.Г. Применение электродвигателей в медицинских устройствах // Медицинская техника. – 2021. – № 1. – с.50–55.
4. Иннодрайв технологии имеют значение [Электронный ресурс] URL: https://innodrive.ru/articles/beskollektornyi_dvigatel_postoyannogo_toka/?ysclid=m3pya3xz99697007271(дата обращения 18.11.2024)

© Хисамутдинов Ф.Р., 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3.1 Информационно-измерительная техника и авионика

<i>Абдрахманов А.А.</i> Автоматическое управление освещением офиса	3
<i>Антропов Р.И.</i> Анализ направлений модернизации грузоподъемных механизмов.....	7
<i>Бабушкин И.А.</i> Устройство с тактильной обратной связью.....	13
<i>Багров Д.С.</i> Варианты реализации радиомаяков, сопряженных с радиокompасами малых беспилотных летательных аппаратов.....	19
<i>Бадритдинов В.А.</i> Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС: текущее состояние и перспективы развития.....	23
<i>Байрамов Д.Э.</i> Система бесперебойного питания для автономной станции передачи измерительной информации.....	29
<i>Бикметов Т.З.</i> Измерение зазора лопаток газотурбинного двигателя волоконно-оптическим методом.....	36
<i>Газизов А.Р.</i> Современные технологии в области ультразвуковых расходомеров нефтегазовой отрасли.....	39
<i>Гайсин Д.А.</i> Увеличение дальности связи с помощью дронов-ретрансляторов.....	44
<i>Галиев А.А.</i> Сверхкороткоимпульсная радиолокация и голографическое формирование импульса.....	48
<i>Давлетбаева Д.А.</i> Использование инвариантных моментов в задаче автоматического распознавания типов летательных аппаратов.....	54
<i>Дёгтев К.А.</i> Сравнительный анализ методов выброса парашюта на беспилотных летательных аппаратах.....	60
<i>Иванов В.Ю.</i> Феррометрический анализ смазочных материалов на частицы износа.....	63
<i>Ираев Д.Г.</i> Способы измерения массы пчелиной семьи и ее продуктов.....	67
<i>Коваленко Е.Б.</i> Коммутатор видеопотока в видеоподсистеме беспилотного летательного аппарата.....	71
<i>Краснов Д.В.</i> Система продувки воздухом пирометра газотурбинного двигателя.....	74
<i>Панченко А.Д.</i> Продление срока активного использования спутника с помощью тестового компьютера на борту.....	81
<i>Петров Д.Г.</i> Система термометрирования лопаток газотурбинного двигателя.....	85
<i>Путинцев Д.И.</i> Устройство для контроля реабилитации мышц.....	90
<i>Тиммербулатова А.И., Хаматова Э.Р.</i> Автономная площадка для беспилотных летательных аппаратов.....	93
<i>Тимошенко М.Л.</i> Применение технологий виртуальной реальности в учебных дисциплинах по электронике.....	96

<i>Хайруллин В.В., Кашанов Д.А.</i> Оптические методы сортировки полимерных отходов: спектральные методы идентификации.....	100
<i>Хафизов Г.И.</i> Использование массометров в программе PLL SVP Для настройки блока фазовой автоподстройки частоты.....	106
<i>Чердынцева С.А.</i> Концепция лабораторной работы по теме «Испытание тяги винтомоторных групп».....	110
<i>Шарипов А.Е.</i> Стенд для испытаний на динамические нагрузки гидравлического пульсатора телеметрической системы в процессе бурения.....	113
<i>Шуматбаев Р.В.</i> Методы кодирования в радиосвязи: голографическое кодирование.....	116

Секция 3.2 Биомедицинская инженерия

<i>Адушева А.П.</i> Электронный доплеровский фетальный мониторинг в акушерстве.....	120
<i>Ахмадиев Б.И.</i> Влияние длительного пребывания инородных металлических предметов в глазах на зрение.....	123
<i>Багаутдинова Д.Ш.</i> Специализированное программное обеспечение для расчета и анализа показателей физического здоровья человека.....	128
<i>Гайсина Д.В.</i> Внедрение технологий бережливого производства в медицинские организации.....	133
<i>Гейдаров Э.Т.</i> Современные виды фильтрации шумов ЭКГ-сигнала.....	137
<i>Григорьева Д.А.</i> Импедансная плетизмография и фотоплетизмография Как методики измерения частоты сердечных сокращений.....	144
<i>Ибрагимова Г.И., Валиева А.Б.</i> Система рециркуляции. Сравнительный анализ производителей.....	150
<i>Пономарева Д.И.</i> Применение технологии чистых помещений в палатах для трансплантации костного мозга.....	155
<i>Порошина О.А.</i> Обзор типов передаточных окон, применяемых в чистых помещениях.....	159
<i>Порошина О.А.</i> Обзор требований к уровню микроклимата в помещениях центрального стерилизационного отделения.....	163
<i>Романов Д.А.</i> Аппараты для диагностики вибрационной чувствительности.....	167
<i>Рузанова Н.В.</i> Разработка структурной схемы аппарата для лечения ран отрицательным давлением.....	171
<i>Рузанова Н.В.</i> Сравнительный анализ аппаратов для лечения ран отрицательным давлением.....	176
<i>Сабитов А.Р.</i> Современные виды хроматографии в медицине.....	182
<i>Садыков А.Р.</i> Цифровой двойник в биомедицинской инженерии.....	187
<i>Салмиянова Е.Р.</i> Алгоритмы распознавания шоковых ритмов сердца: основы, методы и применение.....	190

<i>Сафиуллин А.Р.</i> Внедрение технологий бережливого производства в медицинские организации.....	194
<i>Смирнов Н.В.</i> Интеграция анализа капнографических данных в системы управления искусственной вентиляцией легких.....	197
<i>Стуколкин А.С.</i> Аппараты и устройства для лечения и профилактики челюстно-лицевых заболеваний у детей с церебральным параличом.....	202
<i>Фазлиахметова А.Р.</i> Лазерная хирургия мягких тканей.....	205
<i>Черноусова А.А.</i> Применение эффекта Доплера в медицине.....	211
<i>Чикин А.В.</i> Перспективы разработки систем быстрого размораживания плазмы.....	215
<i>Ковалева М.Е., Идрисова А.С.</i> Адаптация человека к внешней среде: роль физиологических ритмов в организме.....	218

Секция 3.3 Инфокоммуникационные системы и технологии

<i>Антипова В.Е.</i> Обнаружение последовательностей слабых сигналов в гидроакустических каналах связи.....	223
<i>Галеев З.З., Буткин М.С.</i> Применение глубокого обучения для обнаружения и оценки сигнала в системах с OFDM модуляцией.....	225
<i>Галеев З.З., Буткин М.С.</i> Исследование функций Бесселя для создания программного обеспечения автоматизированного вычисления.....	229
<i>Иванов А.А.</i> Программно-аппаратный комплекс интеллектуального управления отоплением в составе систем «Умный город».....	234
<i>Ильясова З.У., Салаватова И.Ф.</i> Передача изображения по многомодовым оптическим волокнам.....	237
<i>Сальников Р.О.</i> Методы оптимизации сигнально-кодовых конструкций в гибридных сетях связи.....	239
<i>Хайретдинова А.Д.</i> Применение технологий Интернета вещей в пчеловодстве.....	243
<i>Хакимов О.М.</i> Перспективы применения когнитивного радио в сетях беспроводной связи пятого поколения.....	247
<i>Хаметова А.И.</i> Цифровая трансформация в управлении цепочками поставок: интеграция маркетинговых и логистических стратегий для повышения конкурентоспособности предприятия.....	250
<i>Шайгарданова А.Р.</i> Система оценки пешеходного трафика для цифрового двойника города.....	256

Секция 3.4 Управление в электроэнергетических системах

<i>Вавилов И.П.</i> Исследования и оценка влияния человеческого фактора на надёжность объектов электроэнергетики.....	260
<i>Вильданов Ф.Х.</i> Система мотивации в электроэнергетических компаниях: теоретические основы и практические рекомендации.....	263

<i>Евдокимов К.Я.</i> Система управления производством оборудования для электроэнергетического сектора.....	268
<i>Иксанов Д.Ю., Гареев Р.И.</i> Перспективы внедрения цифровых подстанций Как элемента перехода к электроэнергетике будущего.....	275
<i>Норкин Д.Ф., Григорьева Ю.В.</i> Разработка программ повышения квалификации персонала по обслуживанию автономных систем освещения на солнечных панелях.....	278
<i>Нуртдинов Р.Р.</i> Инновационное решение применения машинного зрения по выявлению нарушений требований охраны труда с применением персональных видеорегистраторов и оповещателей.....	283
<i>Яикбаев Ш.Ф.</i> Повышение надёжности кабельных линий.....	286

Секция 3.5 Электротехнический инжиниринг

<i>Агапитова Е.С.</i> Обзор конструкций двигателей переменного тока для привода насоса системы водоснабжения с возможностью регулирования частоты вращения.....	292
<i>Ахунджанов А.Э.</i> Асинхронный двигатель для легкового транспортного средства: технологии и перспективы.....	296
<i>Бородин Д.С.</i> Электропривод. Достоинства, недостатки и способы улучшения.....	299
<i>Бурханов А.А.</i> Анализ современных конструкций школьных обучающих стендов.....	302
<i>Галиев А.Р.</i> Многофазные автотрансформаторы для авиационных систем электроснабжения.....	305
<i>Заварзин А.Ю.</i> Использование интеллектуальных систем в электроснабжении.....	309
<i>Колиниченко Н.С., Норкин Д.Ф.</i> Обзор резервных источников питания: достоинства и недостатки.....	315
<i>Ахмеджанова Э.Р., Кудрявцев Н.С.</i> Обзор способов пожаротушения трансформаторов.....	319
<i>Насыров В.Р., Гареев Р.И.</i> Анализ влияния частотно-регулируемых приводов на энергосбережение и экологическую безопасность.....	324
<i>Рыбаков И.К.</i> Агрегаты зажигания малоразмерных газотурбинных двигателей.....	327
<i>Сергеев А.В., Гареев Р.И.</i> Сравнение эффективности статического синхронного компенсатора и активных фильтров в компенсации реактивной мощности.....	333
<i>Силантьев А.Е.</i> Сравнение бесконтактных двигателей постоянного тока с традиционными двигателями.....	341
<i>Симонов С.П.</i> Силовой трансформатор в составе агрегата плазменного зажигания.....	345

<i>Столбков С.С.</i> Обзор используемых изоляционных лент в статорной обмотке электродвигателей.....	347
<i>Филиппов Р.А.</i> Использование гибридных двигателей в грузовых автомобилях.....	351
<i>Хисамутдинов Ф.Р.</i> Двигатель постоянного тока для детской инвалидной коляски.....	355

При подготовке электронного издания использовались следующие программные средства:

- Adobe Acrobat – текстовый редактор;
- Microsoft Word – текстовый редактор.

Все права защищены. Книга или любая ее часть не может быть скопирована, воспроизведена в электронной или механической форме, в виде фотокопии, записи в память ЭВМ, репродукции или каким-либо иным способом, а также использована в любой информационной системе без получения разрешения от издателя. Копирование, воспроизведение и иное использование книги или ее части без согласия издателя является незаконным и влечет уголовную, административную и гражданскую ответственность.

Научное издание

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 3

Материалы

XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции

(г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.)

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 27.12.2024 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 12,92 Мб.
Заказ 274.

*ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
450008, Башкортостан, г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12.*

Тел.: +7-908-35-05-007
e-mail: ric-bdu@yandex.ru