



МИНОБРНАУКИ
РОССИИ



УФИМСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

приоритет2030⁺
лидерами становятся

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 3

Материалы

**XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)**



Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Уфимский университет науки и технологий»

МАВЛЮТОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Том 3

*Материалы
XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)*

Научное электронное издание сетевого доступа

Уфа
Уфимский университет
2025

УДК 621
ББК 30
М12

*Публикуется по решению ученого совета
Института электротехнического инжиниринга УУНУТ.
Протокол № 6 от 24.12.2025 г.*

Редакционная коллегия:

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

Мавлютовские чтения: материалы XIX Всероссийской молодёжной науч-
M12 ной конференции (г. Уфа, 24–28 ноября 2025 г.) / отв. ред. А.В. Лобанов /
в 8 т. Т. 3 [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. –
Уфа: Уфимский университет, 2025. – 558 с. – URL:
<https://uust.ru/media/documents/digital-publications/2025/404.pdf> – Загл. с титула
экрана.

ISBN 978-5-7477-6320-3

Том 3: ISBN 978-5-7477-6327-2

В 3-й том сборника материалов конференции вошли статьи секций 3.1–3.4.
Сборник предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых и
преподавателей.

Все материалы представлены в авторской редакции.

Мероприятие проведено в рамках субсидии из федерального бюджета
образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий,
направленных на поддержку студенческих научных сообществ (соглашение
№ 075-15-2025-429 от 23 мая 2025 г.).

УДК 621
ББК 30

ISBN 978-5-7477-6327-2 (том 3)
ISBN 978-5-7477-6320-3

© Уфимский университет, 2025

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

УДК 681.586.787

И.Ф. БАТЫРШИН

batyrshin.9797gizzatullin@ya.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

**ИМИТАТОР СИГНАЛОВ ДАТЧИКОВ БЛОКОВ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ**

Аннотация: в статье представлен обзор типов датчиков угловых положений блоков систем управления. Даны основные зависимости и характеристики датчиков. Произведен анализ существующих методов имитации сигналов датчиков. Предложена альтернативная схема формирования сигналов. Оценены преимущества и недостатки предложенного метода.

Ключевые слова: имитатор; вращающийся трансформатор; датчик; цифровой фильтр; синусно-косинусный трансформатор.

Проверка и настройка блоков систем управления требует подключения физических датчиков положения и угла. При этом сами датчики требуют ручного управления и задания угла. Для автоматизации проверки блоков требуется устройство, которое может имитировать сигналы датчиков и управляться удаленно.

Обзор существующих датчиков

Датчики блоков систем управления представляют собой вращающиеся трансформаторы (ВТ). Информация о текущем угле задается в амплитуде выходного сигнала датчика. ВТ в датчиках питаются напряжением 36 В и частотой 400 Гц, который также является опорным сигналом.

В блоках систем управления сигналы с датчиков поступают на фазочувствительные преобразователи. Поэтому важно учитывать фазовые сдвиги, вносимые ВТ.

В системах автоматического управления для передачи угловых перемещений применяются два типа датчиков. В зависимости от схемы включения и режима работы (выполняемых функций) трансформаторы подразделяются на синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы (СКВТ), выходное напряжение которых изменяется пропорционально синусу (косинусу) угла

поворота ротора, и линейные вращающиеся трансформаторы (ЛВТ), выходное напряжение которых изменяется по линейному закону пропорционально углу в определенных пределах.

Аналитически зависимость выходного сигнала ЛВТ, от установленного угла можно представить в виде:

$$U_{\text{вых}}(t) = k(\alpha) * U_{\text{вх}} * \sin(2 * \pi * f * t),$$

где $k(\alpha)$ определяется в виде:

$$\begin{cases} k(\alpha) = p * \frac{\alpha}{45}; p = \text{const, при } \alpha < 45^\circ; \\ k(\alpha) = p * \frac{90 - \alpha}{45}; p = \text{const, при } 45^\circ < \alpha < 90^\circ; \end{cases}$$

Уравнение для СКВТ согласно [1], аналитически записывается в следующем виде:

$$\begin{cases} U_{\sin}(t) = \sin(\alpha) * U_{\text{вх}} * \sin(2 * \pi * f * t); \\ U_{\cos}(t) = \cos(\alpha) * U_{\text{вх}} * \sin(2 * \pi * f * t); \end{cases}$$

При измерении параметров ЛВТ и СКВТ существующих датчиков, используемых в блоках, установлено что они вносят различные фазовые сдвиги в выходной сигнал. Поэтому имитатор сигналов должен давать возможность изменения фазы выходного сигнала относительно опорного.

Обзор существующих методов имитации сигналов датчиков

В статье [2] была предложена схема имитатора сигналов СКВТ. В данной работе имитатор используется в качестве точного, эталонного образца для калибровки аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), предназначенных для измерения сигналов трансформаторов. В статье при имитации сигналов предлагается использовать способ, основанный на балансной модуляции. Структурная схема реализации данного имитатора приведена на рис. 1.

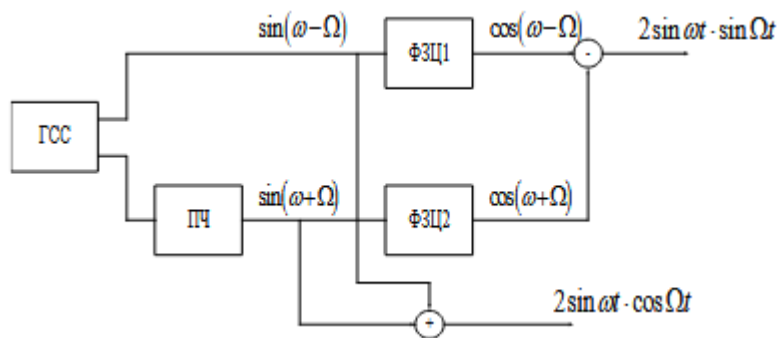


Рис. 1. Структурная схема реализации имитатора, основанная на балансной модуляции

Рассмотренное решение эффективно только если СКВТ не вносит паразитные фазовые сдвиги в выходной сигнал. Как было сказано выше в реальных трансформаторах присутствуют фазовые сдвиги сигнала относительно опорного.

Рассмотрение альтернативной схемы имитатора сигналов

В статье [2] поясняется, что построить имитатор стандартными способами на основе умножающих цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП) не представляется возможным, поскольку их применение ограничено временем установления выходного сигнала и разрядностью. Однако развитие микроэлектроники в настоящий момент дает возможность реализовать именно данный метод формирования сигнала имитатора. Далее будет приведено описание схемы имитатора сигналов, основанного на использовании цифровых методов формирования сигналов с помощью ЦАП.

На рис. 2 представлена функциональная схема данного имитатора.

Краткое описание работы имитатора.

Питающее напряжение оно же опорное дискретизируется с помощью АЦП. Дискретный отсчет сигнала подается на вход цифрового фильтра. Цифровой фильтр имитирует паразитные характеристики ВТ и вносит фазовый сдвиг относительно опорного сигнала. С выхода фильтра значение выдается на ЦАП. Таким образом в этом тракте формируется сигнал аналогичный сигналу ВТ, но неизменной амплитуды. Этот же сигнал является опорным сигналом для внешних микросхем ЦАП.

Амплитуда выходных сигналов имитатора изменяется внешними микросхемами ЦАП с архитектурой «R2R». Необходимое условие работоспособности имитатора, это возможность изменения опорного напряжения микросхемы ЦАП от 0 В до $U_{пит}$.

Вычислитель кодов ЦАП вычисляет значение, подаваемое на микросхемы, в зависимости от угла, согласно аналитической формуле, для данного типа ВТ.

Внешние микросхемы управляются по последовательному периферийному интерфейсу (SPI).

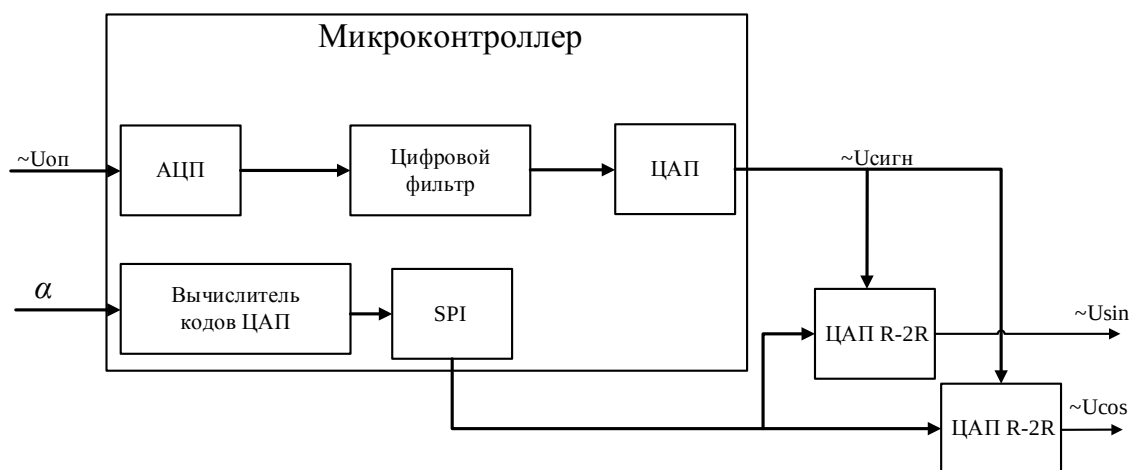


Рис. 2. Функциональная схема имитатора

Функциональная схема имитатора приведена как пример реализации. Основные узлы могут быть реализованы как на одном микроконтроллере, так и разнесены по разным микроконтроллерам.

Можно выделить следующие преимущества данной реализации имитатора:

1. Возможно в режиме реального времени менять тип имитируемого датчика путем изменения параметров цифрового фильтра и изменением узла вычисления кодов ЦАП.
2. Цифровой фильтр позволяет компенсировать фазовые сдвиги, которые могут происходить при прохождении опорного сигнала через схему.
3. Легко внедрить в данную схему какой-либо интерфейс и обеспечить возможности удаленного управления.

Возможные проблемы при использовании рассмотренного метода имитации:

1. Цифровой фильтр не учитывает амплитудно-частотные характеристики трансформатора в области высоких частот. Имитатор не будет повторять реакцию трансформатора на высокочастотные составляющие опорного сигнала.
2. Сложность увеличения порядка фильтра. Увеличение порядка фильтра ведет к увеличению вычислительных затрат. Что в свою очередь приводит к большей задержке выходного сигнала.
3. Необходимость применения микросхем ЦАП с жестко заданными характеристиками. Не все микросхемы позволяют менять опорное напряжение от 0 до $U_{пит}$. С развитием микроэлектроники данная проблема теряет свою актуальность.

Приведенная в статье схема имитатора сигналов датчиков важный шаг в автоматизации проверки блоков систем управления. Рассмотренный метод позволяет учитывать различные параметры датчиков в том числе паразитные. Схема, приведенная в статье, может быть использована для имитации сигналов других типов датчиков.

Библиографический список

1. Баканов, М. В. Информационные микромашины следящих и счетно-решающих систем (вращающиеся трансформаторы, сельсины) / М. В. Баканов, В. А. Лыска, В. В. Алексеев. – М.: Энергия, 1974. – 183 с.
2. Доросинский, А. Ю. Имитатор синусно-косинусного вращающегося трансформатора на основе балансной модуляции / А. Ю. Доросинский // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2007. – Т. 1. – С. 393-395. – EDN NDUTYP.

© Батыршин И.Ф., 2025

УДК 681.7.01

Т.З. БИКМЕТОВ

timur.bikmetov.03@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАТКИ НА ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНОГО ЗАЗОРА ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Аннотация: в статье рассматривается влияние параметров микрогеометрии отражающей поверхности лопатки газотурбинного двигателя на точность измерений радиального зазора волоконно-оптическим методом. Проведён анализ зависимости интенсивности отражённого сигнала от отношения параметра шероховатости к длине волны излучения. Получены расчётные зависимости, позволяющие оценить погрешность измерений при различных состояниях поверхности.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, радиальный зазор, газотурбинный двигатель, шероховатость, отражённый сигнал, оптические измерения.

Введение

Контроль радиальных зазоров в компрессорных и турбинных ступенях газотурбинных двигателей (ГТД) является важным элементом повышения их эффективности. Изменение зазора в процессе работы связано с термическими деформациями, центробежными силами и износом торцов лопаток. Волоконно-оптические системы обладают наибольшей устойчивостью к электромагнитным помехам, высоким быстродействием и безопасностью при эксплуатации в условиях высоких температур. Однако точность таких систем существенно зависит от состояния отражающей поверхности лопатки, в частности от её шероховатости.

Принципы работы системы

Метод измерения зазора лопаток ГТД, основанный на том, что световой поток через волоконно-оптический канал направляется к поверхности лопатки. Отражённый от торца лопатки сигнал возвращается по другому оптическому каналу, проходя через оптический фильтр, который выделяет рабочий спектральный диапазон. Далее свет попадает на фотоприемник – фотодиод, где преобразуется в электрический сигнал. Этот сигнал усиливается и фильтруется в электронной схеме обработки сигнала (рис.1).

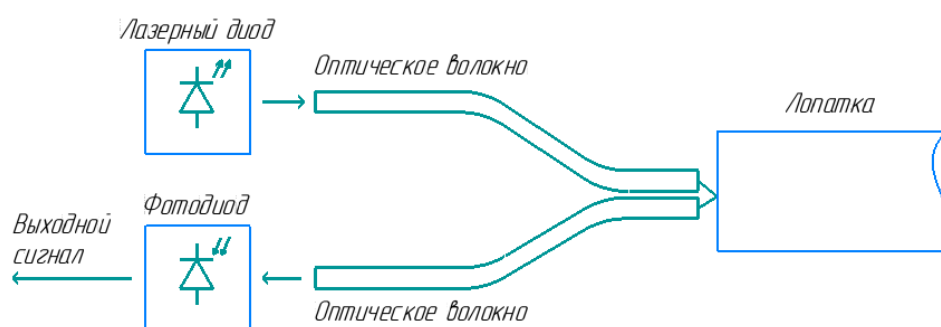


Рис. 1. Упрощенная структура системы на основе волоконно-оптического датчика

В качестве источника излучения в таких системах применяются лазерные диоды ближнего инфракрасного диапазона (0,78–1,5 мкм). Выбор типичных длин волн - 850 нм, 1310 нм и 1550 нм - обусловлен несколькими факторами: минимальными потерями на поглощение и рассеяние в кварцевом оптическом волокне, а также высокой устойчивостью к электромагнитным помехам. Использование ультрафиолетового (УФ) диапазона в данных условиях нецелесообразно по ряду причин. Во-первых, УФ-излучение обладает значительно более высоким коэффициентом затухания в оптическом волокне, что приводит к большим потерям сигнала. Во-вторых, оно сильнее рассеивается на микронеровностях поверхности, сравнимых с его длиной волны (200-400 нм), что усугубляет влияние шероховатости и снижает мощность полезного зеркального отражения. В-третьих, материалы оптических волокон и компонентов под длительным воздействием УФ-излучения могут деградировать. В отличие от УФ, ближний ИК-диапазон обеспечивает оптимальный баланс между энергией фотонов, пропускной способностью волокна и надежностью работы системы. Сравнение УФ и ИК приведены на рисунке 2. Характер отражения (зеркальное или диффузное) определяется соотношением между средней высотой микронеровностей h и длиной волны излучения λ , а I является интенсивностью сигнала.

Поведение эмпирической модели показано на рис.2 (экспоненциальное затухание), кривая демонстрирует более резкое падение в УФ диапазоне из-за сильного рассеивания на микронеровностях. При $\lambda = 850$ нм и стандартной мощностью источника 1 мВт. Мощность отражённого сигнала:

$$\Phi_{\text{отр}} = \Phi_0 \cdot \rho,$$

где $\rho \approx 0.2$ (для металла), отсюда $\Phi_{\text{отр}}$ приблизительно 200 мкВт.

Учитывая потери в волокне и отражении от торца (~80%), итоговая мощность на приёмнике приблизительно 40 мкВт. Это значение (40 мкВт) определяет требования к чувствительности фотоприёмника, подчёркивает критическую важность состояния отражающей поверхности и обосновывает необходимость использования усилителя. Приёмное устройство должно уверенно регистрировать сигнал данного уровня на фоне шумов, а любое дополнительное ослабление сигнала (например, из-за повышенной

шероховатости) может привести к падению мощности ниже порога чувствительности, что сделает измерения невозможными. Следовательно, исходный уровень сигнала задаёт жёсткие рамки для всех компонентов измерительного тракта и напрямую связан с требованиями к качеству поверхности. Ближний ИК диапазон ($\lambda = 850-1310$ нм), обеспечивает максимальное прохождение в волокне и надёжное отражение от металлического торца при хорошей полировке. Выберем излучатель OPF320 и приемник BPW24R.

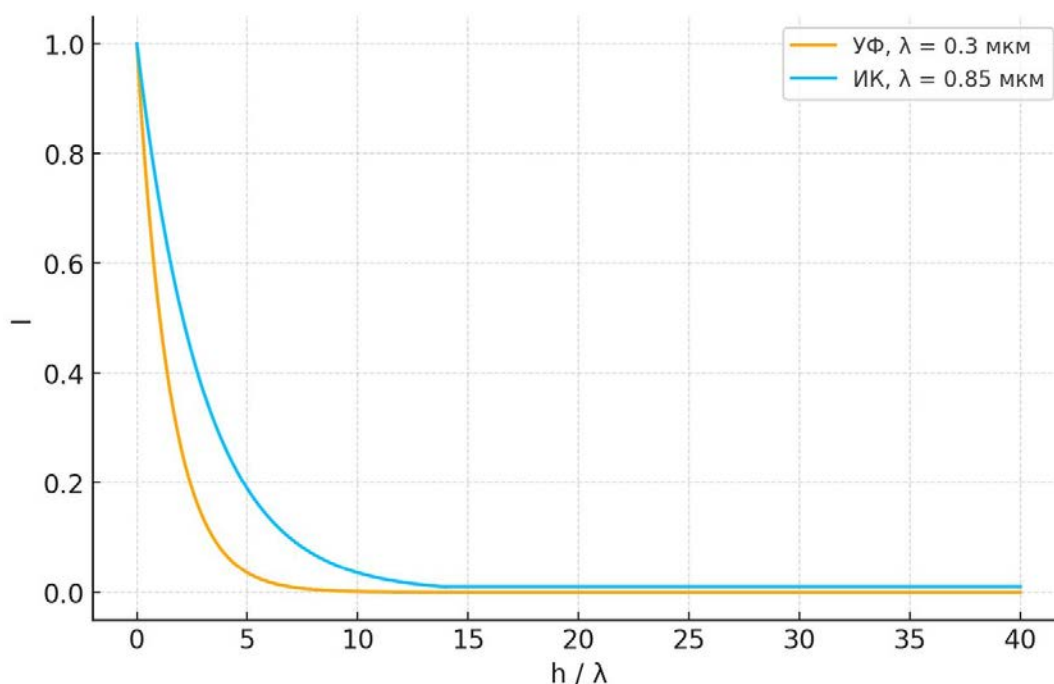


Рис. 2. Сравнение влияния шероховатости лопатки на отражённый сигнал в УФ и ИК диапазонах

Модель влияния шероховатости лопатки на отражение

Поверхность торца лопатки ГТД играет ключевую роль в формировании отраженного сигнала в волоконно-оптической системе измерения. При отражении лазерного излучения от шероховатых металлических поверхностей существенным фактором является условие:

$$h \cdot \cos \varphi = \lambda,$$

где h - высота микронеровностей, λ – длина волны излучения, φ - угол между направлением падения излучения и нормалью к усреднённой плоскости поверхности (угол падения). В случае перпендикулярного падения лучей на торец лопатки ($\varphi \approx 0^\circ$), что характерно для рассматриваемой измерительной системы, условие формирования устойчивой зеркальной компоненты упрощается до $h \ll \lambda$.

При этом условии формируется устойчивая зеркальная составляющая отражённого света. Характер отражения (зеркальное или диффузное) определяется соотношением между средней высотой микронеровностей h и

длиной волны излучения λ . Учёт этого условия необходим для корректной интерпретации сигнала, принимаемого фотодиодом. В частности, при высокой степени шероховатости отражающей поверхности возможно резкое снижение амплитуды полезного сигнала вследствие преобладания диффузной компоненты отражения. При $h/\lambda < 1$ – преобладает зеркальное отражение, при $h/\lambda \gg 1$ – возникает диффузное рассеяние. Для системы с $\lambda = 0,85$ мкм (ИК-диапазон) параметры шероховатости и отношение h/λ показаны в Таблице 1.

Таблица 1

Параметры шероховатости и отношение h/λ

Параметр шероховатости (h , мкм)	Отношение h/λ	Тип отражения
0,3	0,35	Зеркальное
1	1,18	Смешанное
4	4,7	Диффузное
10	11,8	Диффузное, с потерями

Для обеспечения устойчивого зеркального отклика – доводить шероховатость торца до уровня $Rz \leq 0,3$ мкм ($\lambda/3$). В данной работе для сопоставления теоретической модели с практическими технологическими требованиями параметр h отождествляется с контролируемым на производстве параметром шероховатости Rz (высота неровностей профиля по десяти точкам). Для поверхностей, полученных механической обработкой, такое приближение является допустимым.

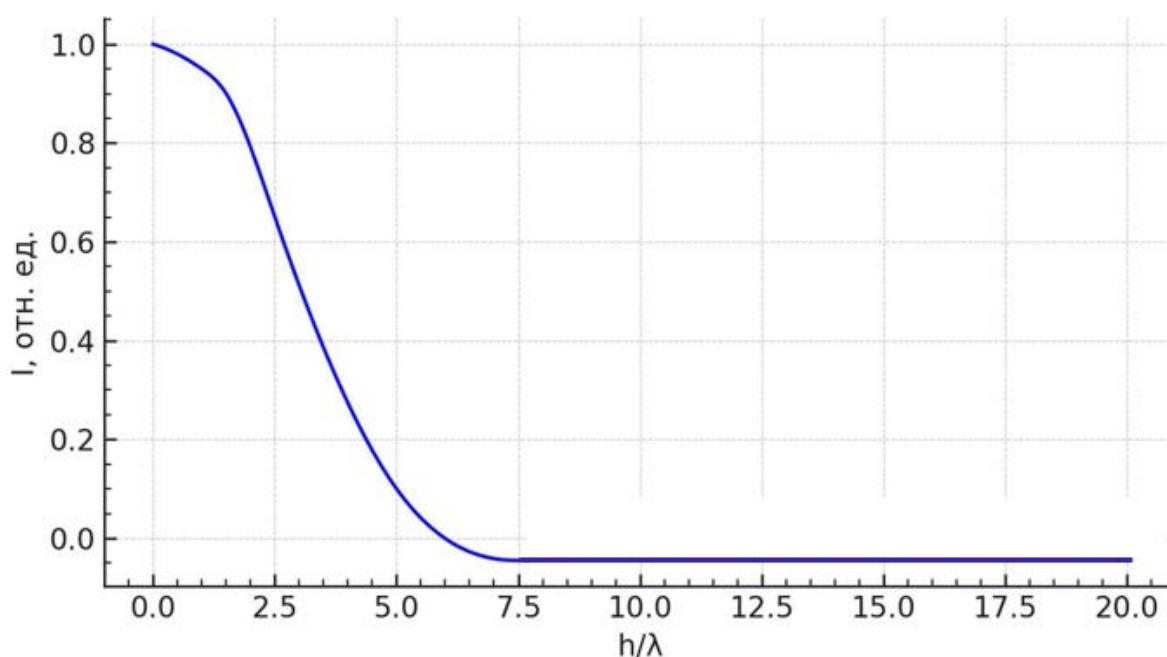


Рис. 3. Зависимость отражённого сигнала от шероховатости

$$I_{\text{отраж}} = I_0 \cdot \exp\left(-\alpha \cdot \left(\frac{h}{\lambda}\right)^2\right),$$

где $\alpha \approx 0,1$ – эмпирический коэффициент потерь (означает, что при увеличении шероховатости теряется около 10% мощности отражённого полезного сигнала) вносится, чтобы учесть потери и приблизить условия к реальным.

Расчётная часть

Для волоконно-оптической системы с длиной волны $\lambda = 0,85$ мкм рассмотрим влияние различных уровней шероховатости торца лопатки. Параметр $h = 0,3$ мкм ($h/\lambda = 0,35$) – зеркальное отражение, $I/I_0 = 0,99$. Параметр $h = 1$ мкм ($h/\lambda = 1,18$) – смешанное отражение, $I/I_0 = 0,87$. Параметр $h = 4$ мкм ($h/\lambda = 4,7$) – диффузное отражение, $I/I_0 = 0,38$. Параметр $h = 10$ мкм ($h/\lambda = 11,8$) – диффузное отражение с потерями, $I/I_0 = 0,10$.

Из расчётов следует, что при увеличении шероховатости более 1 мкм отражённая мощность падает почти в два раза, а при $h > 4$ мкм – теряется до 60% полезного сигнала. Для обеспечения стабильности отражения рекомендуется доводить шероховатость торца до уровня $Rz \leq 0,3$ мкм ($\lambda/3$).

Влияние шероховатости лопатки на погрешность измерений

Падение амплитуды отражённого сигнала приводит к изменению калибровочной характеристики датчика и снижению отношения сигнал/шум. Относительная погрешность, вызванная шероховатостью, определяется выражением:

$$\delta_{Rz} = \left(1 - \frac{I_{\text{отраж}}}{I_{\text{макс}}}\right) \cdot 100\%,$$

При $h/\lambda = 1,18$ ошибка составляет 25–30 %, а при $h/\lambda = 4,7$ – до 60 %. Таким образом, необходимо поддерживать качество поверхности лопаток на требуемом уровне и проводить её контроль перед испытаниями.

Заключение

Проведённый анализ показал, что микрогеометрия поверхности лопатки оказывает существенное влияние на точность волоконно-оптических измерений радиальных зазоров. При превышении уровня шероховатости $h > 1$ мкм отражённый сигнал снижается на 20–30 %, а при $h > 4$ мкм теряется до 60 % мощности излучения. Для обеспечения стабильной работы датчика необходимо поддерживать качество обработки торца на уровне $Rz \leq 0,3$ мкм и применять программную коррекцию сигнала.

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, 1963–432p.

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. Минеев А.В., Ясовеев В.Х. Аналитическая модель измерительного оптико-электронного зонда малых аксиальных перемещений. Автометрия. 2021. Т. 57 №1. С. 80–91.

7. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989. – 504 с.

8. Стешаков Е.Г., Молокович И.Н. «Измерение радиального зазора в компрессорных машинах волоконно-оптическим методом». №1 (6), 2020. – С. 65–70.

9. Hecht E. Optics – 5th ed. – Pearson Education, 2016. 728 p.

10. Zervas M.N., Poole S.B. Loss mechanisms in optical fibers for ultraviolet and infrared radiation // Optical Fiber Technology. – 2001. – Vol. 7, №1. – P. 1–17.

© Бикметов Т.З., 2025

Г.И. БОБРОВ

jedyKyle@yandex.com

Науч. руковод. – ст. преп. Е.Ф. НУРЛЫГАЯНОВА

Уфимский университет науки и технологий

БЛОК ДИСТАНЦИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ПРОТОКОЛУ LoRa

Аннотация: в статье представлен обзор и сравнение протокола передачи LoRa с другими протоколами передачи данных, обзор распространенных модулей LoRa и структурная схема устройства с их использованием.

Ключевые слова: LoRa, LoRaWAN, программное обеспечение, передача данных, микроконтроллеры, Bluetooth, GSM, Wi-Fi, интернет вещей.

В настоящее время нельзя представить мир без средств беспроводной передачи информации: Wi-Fi, Bluetooth, GSM и других видов связи, которые прочно вошли в нашу жизнь. Выясним, какой протокол связи лучше выбрать разработчику для реализации дистанционной передачи данных для устройств IoT. Рассмотрим возможные варианты.

Обзор протоколов связи

GSM

Global System for Mobile Communications (GSM) – стандарт цифровой мобильной сотовой связи второго поколения (2G). Разработан для обеспечения голосовой связи, текстовых сообщений (SMS) и передачи данных между мобильными устройствами. Данная технология является самой старой, однако и она нашла свою нишу в интернет вещей. Ее плюсами является доступность, надежность передачи в больших пределах, простота использования. Однако большинство плюсов затмеваются большими минусами: большое энергопотребление, необходимость на каждое устройство иметь SIM карту оператора с оплатой тарифов связи, невозможность связи вне сети покрытия оператора, низкая скорость передачи, большая подверженность помехам на границах покрытия сети.

Wi-Fi

В современном мире сложно найти человека, который не слышал бы о технологии Wi-Fi. Существуют протоколы 2.4G и 5G, на этой технологии основано множество устройств интернет вещей: от датчиков умного дома до промышленного оборудования. Достоинствами Wi-Fi можно назвать передачу данных на большие расстояния при наличии доступа в сеть Интернет, защищенность данных, однако имеются и недостатки: большое

энергопотребление, необходимость авторизации в сети, что не всегда возможно при применении маломощных чипов, сложность авторизации при отсутствии средств ввода на устройстве, дальность охвата роутера со стандартной всенаправленной антенной достигает расстояния не более 30 м.

Bluetooth Low Energy

Данная технология связи была рассчитана для передачи данных на небольшие расстояния между различными устройствами с небольшими затратами энергии. Сегодня нас окружает множество устройств, использующих его: беспроводные наушники, телефоны, ноутбуки, телевизоры, устройства умного дома и многое другое. К достоинствам можно причислить низкое энергопотребление, легкость настройки различных структур на его основе (Web сервера и т.п.), безопасность передачи данных, совместимость с большим количеством устройств. Однако, такая технология обладает и минусами: небольшое расстояние передачи, подверженность помехам и небольшое количество подключений к одному устройству.

LoRa

Long Range (LoRa) это протокол беспроводной связи, специально разработанный для создания сетей интернета вещей с дальним радиусом действия и низким энергопотреблением. Он работает на нелицензируемых диапазонах частот, для стран Европы это 433 МГц и 868 МГц. Его особенностями является акцент на гарантированную передачу пакетов малого размера (от нескольких десятков до пары сотен байт), что позволяет сократить время передачи и уменьшить затраты энергии. Протокол имеет встроенное шифрование, возможность организации сети устройств, базовых станций и многое другое. К преимуществам также можно отнести радиус действия до 20-30 км, высокую степень проникновения сквозь препятствия. Единственным недостатком можно отметить невысокую скорость передачи, однако в остальном он идеален для автономных малопотребляющих устройств интернет-вещей.

Таким образом, можно заявить, что протокол LoRa является наилучшим выбором для использования в устройствах с минимальным энергопотреблением при необходимости передачи малого объема данных на большие расстояния. Рассмотрим самые распространенные радиомодули, которые будут хорошим выбором для применения в сфере интернета вещей.

Обзор модулей LoRa

1. Ra-02

Данный модуль LoRa построен на базе приемопередатчика SX1276. Имеет малые габариты, относительно низкую стоимость. Как правило, применяется только для изучения принципов работы с модулями такого типа из-за ряда недостатков: малой надежностью из-за плохого экранирования блока антенны и

линий питания на печатной плате от помех, большим энергопотреблением даже в режиме сна. Один из вариантов модуля представлен на рисунке 1 [1].

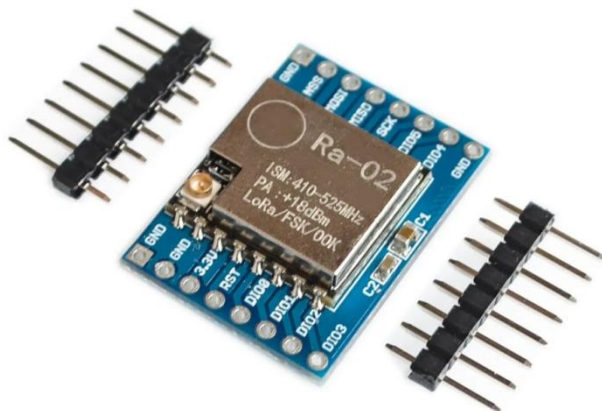


Рис. 1. Внешний вид радиомодуля Ra-02

2. Серии E220 и E22

Серия радиомодулей E220 основана на микроконтроллере LLCC68, имеющем более совершенный блок приемопередатчика в отличие от SX1276. Серия модулей E220 поддерживает связь с внешним устройством при помощи AT команд, протоколов UART/SPI, что предоставляет большие возможности для реализаций различных систем

Серия E22 во многом схожа с серией E220, однако обладает некоторым рядом преимуществ: еще более малое энергопотребление и возможность использования модуля в режимах «роутера» за счет применения микроконтроллера SX1262. Расширенный набор настроек позволяет объединять устройства в единую сеть, что увеличивает площадь покрытия и снижает нагрузку по маршрутизации и обработке поступающих данных, позволяя в том числе организовать сеть Long Range Wide Area Network (LoRaWAN).

Благодаря тому что модули основаны на микроконтроллере, имеется широкий набор различных настроек, в том числе обновление программного обеспечения модуля. Официальный производитель предоставляет набор программ для легкой настройки модулей. Одной из таких программ является E220 версии 1.3, интерфейс которой представлен на рисунке 2 [2].

В данной программе мы можем настроить такие параметры как: скорость передачи, мощность передачи, режим передачи по протоколу UART, скорость радиопередачи, размер пакета, режим модуля, ключ шифрования и многое другое. Также при помощи данной программы возможно обновить ПО самого устройства.

В отличие от Ra-02, данные серии имеют модели с мощностью до 33 дБм (2 Вт), гораздо меньшее энергопотребление в режиме ожидания, больший выбор режимов. Имеются варианты как с частотой 433 МГц, так и с частотой 868 МГц. Один из наиболее распространенных модулей представлен на рисунке 3 [3].

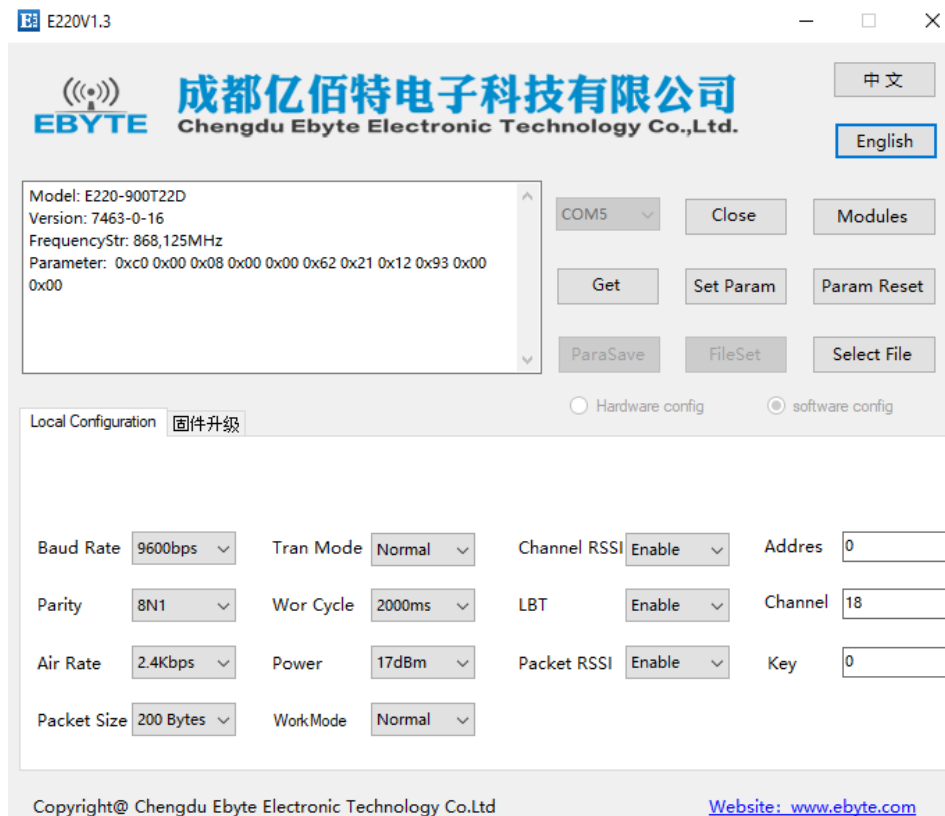


Рис. 2. Внешний вид интерфейса программы E220v1.3

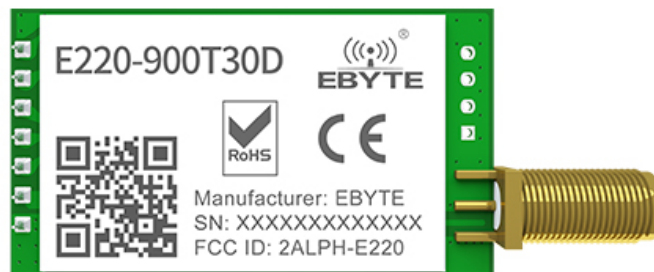


Рис. 3. Внешний вид радиомодуля серии E220-900

3. RFM-96W

Данный модуль построен на одноименном приемопередатчике. Крайне широко используется для систем IoT за счет своих крайне малых габаритов. Имеет низкую стоимость и небольшую дальность передачи 3 км при максимальной мощности модуля 100 мВт при установке рекомендуемых производителем настроек. Внешний вид представлен на рисунке 4 [4].



Рис. 4. Внешний вид модуля RFM-96W

В таблице 1 приведены сравнительные характеристики вышеописанных радиомодулей.

Таблица 1

Сравнительные характеристики радиомодулей

Модуль	Размеры, мм	Чип	Интерфейсы	Дальность /Мощность	Способ монтажа	Цена, рублей
Ra-02	17x17	SX1276	SPI	До 3 км/ 80 мВт	Разъем, пайка	330
E220	От 10x10 До 24x43	LLCC6 8	UART, SPI, AT- commands	От 5.5 км / 158 мВт До 16 км / 2 Вт	Разъем, пайка	От 215 До 860
E22		SX1262				От 330 До 1360
RFM- 92W	16x16	RFM- 92W	SPI	До 3 км / 100 мВт	Пайка	240

Для каждого случая применим свой радиомодуль LoRa. В случае передачи на относительно малые расстояния и применения в устройствах, от которых не требуется высокая надежность и автономность, можно использовать Ra-02 и RFM-92W за счет их крайне малой цены и габаритов. Если важно малое энергопотребление и высокая дальность передачи при небольшой цене и

универсальности, то лучшим выбором будут модули серии E-220. Если же планируется объединение нескольких устройств в общую сеть при высокой надежности, автономности и гибкости настройки (в том числе удаленно по сети), то следует применить устройства серии E22.

Пример устройства с длительным временем автономной работы с применением радиомодулей LoRa представлен на рисунке 5 [5].

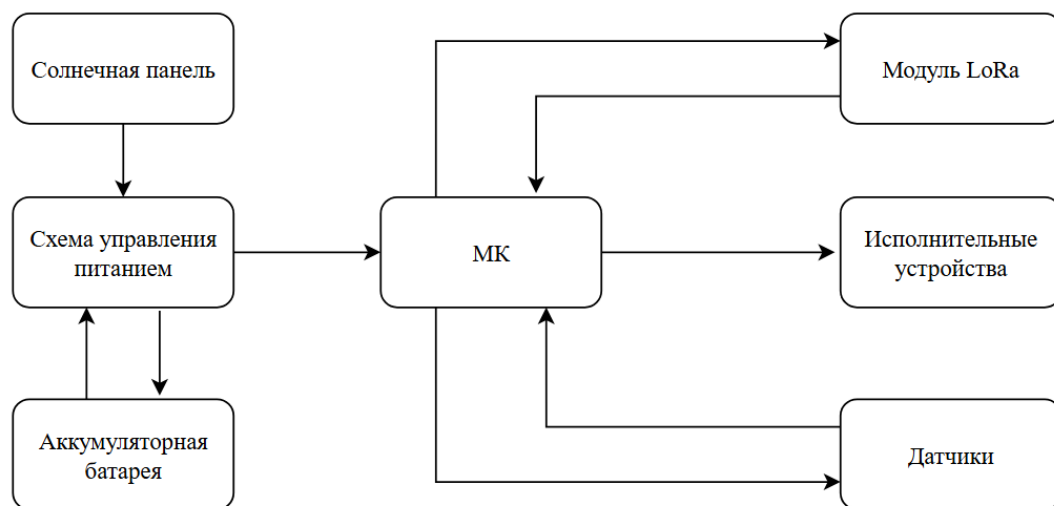


Рис. 5. Структурная схема автономного устройства с применением протокола LoRa

Благодаря большой гибкости протокола LoRa и небольшим требованиям к аппаратной части, возможно реализовать всевозможные устройства интернета вещей различного функционала с полной совместимостью между собой, что открывает большие возможности для разработчиков подобного класса устройств.

Библиографический список

1. https://www.cdebyte.com/product_serch/e22-900/1/
2. <https://www.chipdip.ru/product/rfm96w-433s2-modul-rf-trx-lora-g-fsk-ook-433.92mgts-hoperf-9001402181>
3. <https://www.chipdip.ru/product/ra-02-module-lora-modules-rohs-ai-thinker-8013841410>
4. https://www.cdebyte.com/product_serch/e220-900/1/
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi>
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/LoRa>

© Бобров Г.И., 2025

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

ВИДЕОМОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПЧЕЛОСЕМЕЙ

Аннотация: автоматизированный мониторинг пчел на основе компьютерного зрения – это бесконтактный метод оценки состояния пчелиной семьи. Для точного обнаружения и подсчета особей применяются алгоритмы с использованием искусственного интеллекта, что позволяет непрерывно контролировать ключевые параметры жизни улья и повысить эффективность пчеловодства.

Ключевые слова: мониторинг пчел; компьютерное зрение; искусственный интеллект; пчеловодство.

Автоматизированный мониторинг пчел с применением систем компьютерного зрения представляет собой новую динамично развивающуюся область исследований, объединяющие достижения апиологии, энтомологии и анализа данных. Принцип данного подхода основан на обнаружении изменений поведения пчелы, что может сигнализировать о изменении состояния семьи, наличие болезней или стресса.

Традиционные методы осмотра ульев, несмотря на свою распространенность, характеризуются значительной трудоемкостью и в большинстве случаев вызывают стресс у колонии. В отличие от них, системы непрерывного видеонаблюдения позволяют осуществлять круглосуточный мониторинг поведенческой активности и общего состояния пчелиной семьи без какого-либо вмешательства в ее жизнедеятельность, что является важнейшим преимуществом [1].

На активность вылета и возврата пчел оказывают влияние многочисленные факторы, включая инфекционные заболевания, изменения климатических параметров и другие внешние условия, напрямую определяющие жизнеспособность семьи. Так, интенсивность летной активности является параметром, напрямую связанная с силой семьи и продуктивностью медосбора. Определение роевого состояния также проявляется в специфическом поведении и выражается в скоплении пчел на прилётной доске. Использование компьютерного анализа изображений, полученных внутри улья, предоставляет возможность точной оценки площади печатного расплода – ключевого показателя здоровья и продуктивности матки [2].

Современный технологический методы для решения задач определения и подсчета объектов на видеоизображениях базируется на применении передовых

алгоритмов, таких как модель YOLOv8, часто используемой в комбинации с библиотекой SAHI. Архитектура YOLOv8 предоставляет исследователям и инженерам мощный инструментарий для построения комплексных систем автоматического мониторинга, позволяя решать широкий спектр прикладных задач: от точного подсчета количества особей и идентификации матки до анализа сложных поведенческих сценариев и обнаружения паразитов и вредителей.



Рис. 1. Обнаружение пчел на летке

Библиотека SAHI с открытым исходным кодом была специально разработана для повышения эффективности обнаружения малоразмерных объектов на изображениях высокого разрешения. Ее практическое применение кардинально облегчает задачу распознавания мелких целей, таких как отдельные пчелы в плотном скоплении. В отличие от стандартного подхода, при котором все исходное изображение сжимается до фиксированного размера (например, 640x640 пикселей), что приводит к потере деталей. Методология SAHI предполагает разделение исходного кадра на множество перекрывающихся сегментов (слайсов). Каждый из этих сегментов обрабатывается моделью-детектором независимо, после чего итоговые предсказания объединяются в единую, непротиворечивую карту объектов.

Проблема, решаемая с помощью SAHI, является фундаментальной: при сильном сжатии полноразмерного изображения мелкие, но критически важные объекты могут быть утрачены – их характерные визуальные признаки становятся неразличимыми для сверточной нейронной сети, что приводит к пропуску целей. Кроме того, на уменьшенном изображении ограничивающие рамки (боксы) плотно расположенных особей накладываются друг на друга, создавая эффект «склеивания», в результате чего модель воспринимает группу пчел как единый объект и теряет способность к их индивидуальной идентификации и подсчету [3].



Рис. 2. Обнаружение отдельных особей в массе пчел

Таким образом, комплексное внедрение систем мониторинга, основанных на компьютерном зрении, позволяет преодолеть принципиальные ограничения, присущие ручным методам мониторинга. Использование систем видеочамер с нейросетью обеспечивает возможность непрерывного, дистанционного контроля за жизненно важными параметрами пчелиной семьи. Использование высокоточных алгоритмов детекции, таких как YOLOv8, с передовыми методами обработки изображений, подобными SAHI, успешно решает сложнейшую задачу обнаружения и различения мелких объектов в условиях скученности. Это, в свою очередь, открывает путь к точному анализу поведения особей (активность на летке, признаки роевания, динамика расплода) и созданию систем для автоматизированной оценки состояния семьи, что в перспективе способно кардинально повысить эффективность пчеловодства за счет раннего прогнозирования проблем и оптимизации всех аспектов управления пасекой.

Библиографический список

1. Chiu Chen, En-Cheng Yang, Joe-Air Jiang, Ta-Te Lin An imaging system for monitoring the in-and-out activity of honey bees // Computers and Electronics in Agriculture. – 2012. – № 89. – С. 100–109
2. Bozek, K., Hebert, L., Mikheyev, A. S., & Stephens, G. J. Markerless tracking of an entire honey bee colony // Nature Communications. – 2021. – № 12(1)
3. AI-камера на страже ваших растений: нейросети против белокрылки // Сити-Фермер URL: <https://city-farmer.ru/baza-znaniy/sposoby-vyrashhivaniya/tepliczy/ai-kamera-na-strazhe-vashih-rastenij-nejroseti-protiv-belokrylki/> (дата обращения: 03.11.2025)
4. Bee-Counting // GitHub URL: <https://github.com/Mjrovai/Bee-Counting> (дата обращения: 03.11.2025)

© Ираев Д.Г., 2025

УДК 681.3

Р.Р. КОДО

codorol22@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ РАДИОЧАСТОТНЫХ ИЗЛУЧАЮЩИХ СЕНСОРОВ

Аннотация: в работе рассматривается концепция локальной системы позиционирования, основанной на радиочастотных излучающих сенсорах. Актуальность темы обусловлена ростом потребности в точном определении положения объектов в помещениях и на ограниченных пространствах, где использование спутниковых систем навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.) невозможно или неэффективно. Предлагаемая система использует активные радиосенсоры, излучающие сигналы в заданном диапазоне, и сеть приёмных модулей, обеспечивающих определение координат объектов на основе временных и амплитудных характеристик принимаемых сигналов. В статье изложены необходимые теоретические сведения из радиолокации, описан принцип позиционирования и проанализированы перспективы применения предложенного подхода.

Ключевые слова: локальное позиционирование; радиосенсоры; радиолокация; TDoA; RSSI; ToF; триангуляция; IoT.

Введение

В последние годы наблюдается активное развитие технологий точного позиционирования в ограниченных пространствах. Системы глобальной навигации, такие как GPS или ГЛОНАСС, обеспечивают высокую точность в открытой среде, однако в помещениях их применение ограничено из-за затухания и отражения сигналов. Между тем, задачи навигации и отслеживания объектов в помещениях (например, в промышленной автоматизации, логистике, робототехнике и охранных системах) становятся всё более актуальными.

Существуют различные подходы к локальному позиционированию:

- оптические методы (например, на основе камер и маркеров ArUco);
- инерциальные системы (акселерометры и гироскопы);
- ультразвуковые и акустические решения;
- радиочастотные методы – UWB, BLE, Wi-Fi RTT, RFID.

Радиочастотные системы обладают рядом преимуществ: они не требуют прямой видимости между объектом и приёмниками, обеспечивают устойчивость к освещению и позволяют покрывать большие площади при низком энергопотреблении. Однако для повышения точности требуется учёт влияния многолучевого распространения, интерференции и синхронизации приёмников.

Цель данной работы – создание системы локального позиционирования на основе активных радиосенсоров с повышенной точностью и надежностью позиционирования.

1. Некоторые сведения из радиолокации

Радиолокация основывается на принципе распространения электромагнитных волн и анализе параметров отражённого или принятого сигнала. В контексте локальных систем позиционирования используется активный или пассивный приём радиосигналов от заранее известных источников [1].

1.1. Распространение радиоволн

Основное уравнение распространения радиоволн в свободном пространстве описывается законом Фриса:

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2,$$

где P_r – мощность принимаемого сигнала, P_t – мощность передатчика, G_t и G_r – коэффициенты усиления антенн, λ – длина волны, R – расстояние между антеннами.

В реальной среде сигнал подвергается многолучевому распространению, отражениям и дифракции, что вызывает замирания и искажения амплитуды. Для описания таких процессов применяются модели затухания, например лог-нормальная модель ослабления сигнала, а также модель Рэлея для статистического описания уровня принимаемой мощности.

1.2. Методы измерения расстояния

Основные методы определения координат в радиосистемах включают [2]:

- ToF (Time of Flight) – измерение времени пролёта сигнала между передатчиком и приёмником. Позволяет достичь точности до десятков сантиметров при высоком разрешении по времени.
- TDoA (Time Difference of Arrival) – измерение разности времён прихода сигнала на несколько приёмников. Требуется синхронизации между приёмниками, но позволяет определять положение без обратной связи от сенсора.
- RSSI (Received Signal Strength Indicator) – оценка расстояния по уровню принимаемого сигнала. Метод прост в реализации, но чувствителен к шумам и отражениям.
- AoA (Angle of Arrival) – определение угла прихода сигнала с использованием антенных решёток или фазового анализа. Позволяет дополнить позиционирование угловой информацией.

Комбинированное использование этих методов позволяет значительно повысить устойчивость системы и компенсировать отдельные источники погрешностей.

1.3. Математическая модель триангуляции

Положение объекта вычисляется на основе известных координат приёмников и измеренных расстояний (или временных задержек). Для трёхмерного случая используется система нелинейных уравнений:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = R_i^2,$$

где (x_i, y_i, z_i) – координаты приёмников, R_i – измеренное расстояние.

Система решается методами наименьших квадратов или итеративными алгоритмами (например, Гаусса-Ньютона). Для фильтрации шумов применяется фильтр Калмана или частиц [3].

2. Принцип позиционирования

Предлагаемая система включает несколько активных радиосенсоров, расположенных на подвижных объектах, и сеть приёмников, установленных в фиксированных точках помещения. Каждый сенсор излучает радиосигналы с уникальным идентификатором в заданном диапазоне (например, 2,4 ГГц или 433 МГц).

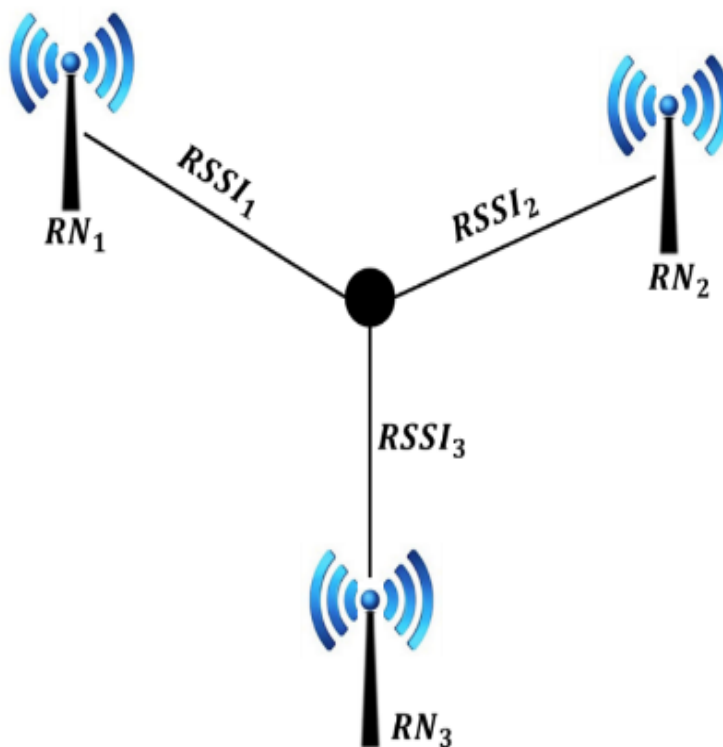


Рис. 1. Пример расположения приемников и подвижного объекта

Приёмные модули регистрируют время прихода сигналов и уровень их мощности, после чего данные передаются в центральный вычислительный узел. На сервере происходит вычисление координат с использованием метода TDoA или комбинированного подхода (TDoA + RSSI).

Для сглаживания траектории объекта применяется фильтр Калмана, обеспечивающий предсказание следующего положения на основе динамической модели движения. В условиях многолучевого распространения используется алгоритм адаптивного взвешивания данных, снижающий влияние ложных измерений.

Точность системы зависит от:

- количества приёмников и их геометрического расположения;
- стабильности частоты и синхронизации;
- частоты обновления измерений;
- свойств среды (отражения, шумы, экранирование).

Моделирование показывает, что при плотности приёмников 1 на 25–30 м² и частоте 2,4 ГГц возможно достичь точности позиционирования до 20–30 см.

3. Ожидаемые результаты и область применения

Реализация предложенной системы позволит создавать гибкие и масштабируемые решения для задач локального позиционирования.

Ожидаемые характеристики:

- точность до 30 см;
- частота обновления до 10 Гц;
- низкое энергопотребление сенсоров (до 50 мВт);
- возможность интеграции с существующими IoT-инфраструктурами.

Потенциальные области применения:

- навигация мобильных роботов и дронов в помещениях;
- отслеживание персонала и оборудования на производстве;
- контроль перемещения транспортных средств на складах;
- системы безопасности и доступа;
- интеллектуальные здания и автоматизация.

Благодаря использованию радиочастотного диапазона система не зависит от освещения и не требует прямой видимости, что делает её подходящей для промышленных и складских помещений.

Заключение

Предложена концепция локальной системы позиционирования на основе радиочастотных излучающих сенсоров. Проведён анализ теоретических основ радиолокации и рассмотрены ключевые методы измерения координат, включая ToF, TDoA и RSSI.

Предложенный подход сочетает точность и устойчивость радиолокационных методов с простотой интеграции в существующие сети IoT. Система сможет обеспечить точность до 10 сантиметров при низком

энергопотреблении, что делает её перспективным решением для промышленной, логистической и робототехнической автоматизации.

В дальнейшем планируется проведение экспериментальных исследований, оптимизация алгоритмов фильтрации и разработка прототипа аппаратной реализации системы с последующей валидацией её параметров в реальных условиях.

Библиографический список

1. Skolnik, M. I. Introduction to Radar Systems. – 3rd ed. – New York: McGraw-Hill, 2001. – 772 p.
2. Zafari, F., Gkelias, A., Leung, K. K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. – IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, no. 3, pp. 2568–2599, 2019.
3. IEEE Standard 802.15.4-2020: Low-Rate Wireless Networks (LR-WPANs). – IEEE, 2020. – 802 p.

© Кодо Р.Р., 2025

Ф.Р. КОКОРЫШКИН

fedorkoko@gmail.com

Науч. руковод. – ст. преп. Е.Ф. НУРЛЫГАЯНОВА

Уфимский университет науки и технологий

БЛОК ПРОСТРАНСТВЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ МОДЕЛЯМИ И ЭЛЕКТРОННЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Аннотация: в данной статье рассматривается блок, позволяющий сделать дистанционное управление виртуальными моделями в сфере взаимодействия человек-компьютер, а также рядом электронных устройств более качественным, эффективным.

Ключевые слова: микроконтроллер, акселерометр, датчик, интерфейс человек-компьютер, передача данных.

Введение

Область техники, связанная с дистанционным управлением объектами и их компьютерными моделями, непрерывно развивается. Существующие устройства и реализуемые ими способы дистанционного управления имеют на данный момент ряд ограничений и недостатков. Поэтому поиски новых решений в области дистанционного управления связаны с желанием повышения его качества.

Обзор современных решений

Рассмотрим существующие модули дистанционного управления на примере управления малыми беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). Типичный вариант набора для управления малыми БПЛА включает в себя манипулятор в формате геймпада и очки виртуальной реальности (рис.1). БПЛА управляется 2-мя стиками, каждый из них имеет две оси управления: вперед-назад и влево-вправо. Данные стики управляют основными параметрами БПЛА: углами крена, рысканья, тангажа и газом. Визуальный контроль от лица камеры БПЛА и её направление связаны с очками виртуальной реальности.

Основные минусы такого решения:

1. Цена. Базовая аппаратура управления начинается с ценника в области 5000 рублей. Сюда же можно отнести дешевизну элементной базы при высокой рыночной цене готового продукта.

2. Наличие щелей в области подвижных деталей, что ускоряет выход из строя при попадании грязи/воды/пыли.



Рис. 1. Внешний вид набора BETAFPV Aquila16 FPV Kit для управления БПЛА.

На таком же принципе управления основаны устройства, используемые разработчиками в программах САПР (Систем Автоматизированного Проектирования). Управление объектами в них также основано на движении стиком, но в отличии от геймпада, в этих устройствах стик двигается не только влево-вправо, вперед-назад, но и вверх-вниз, а также вокруг вертикальной оси. Данный вид управления повышают эффективность работы специалистов, делает ее удобнее при работе со сложными трёхмерными моделями, оптимизируя рабочий процесс. Внешний вид блока управления такого типа представлен на рис.2.

Основные минусы:

1. Цена. Она стартует с ценника в 16000 рублей.
2. Отсутствие выбора формы манипулятора.



Рис. 2. Внешний вид устройств 3Dconnexion для управления виртуальными моделями

Предлагается создание устройства, в одном случае объединяющие способы управления предыдущих, а в другом случае принципиально отличающегося от них. Повышению эффективности управления будет способствовать возможность управления не только движением объекта по трем осям, но и вращением вокруг них. Эту возможность может дать использование микросхемы, объединяющую

3х-осевой акселерометр и 3х-осевой гироскоп. Управление через стики предлагается заменить информацией для расчета перемещения объектов от акселерометра и гироскопа. Предлагается использовать микросхему LSM6DSR.

Принцип работы микросхемы LSM6DSR

LSM6DSR – это высокопроизводительный 6-осевой IMU (Inertial Measurement Unit) от STMicroelectronics, который сочетает в себе 3-осевой акселерометр и 3-осевой гироскоп. В основе акселерометра LSM6DSR лежит MEMS-технология (Micro Electro-Mechanical Systems).

Механическая часть состоит из подвижной массы (Proof Mass) и неподвижных электродов (Fixed Electrodes). Внутри чипа есть инерционная масса, подвешенная на микроскопических упругих балках (пружинках). В состоянии покоя она находится в нейтральном положении. Рядом с подвижной массой расположены неподвижные электроды, образующие с ней конденсаторы. Когда на датчик действует ускорение (например, гравитация или движение), на подвижную массу действует сила. Эта сила заставляет массу сместиться от ее нейтрального положения, растягивая или сжимая упругие балки. Смещение массы изменяет расстояние между ней и неподвижными электродами. Емкость конденсатора обратно пропорциональна расстоянию между обкладками, поэтому при смещении массы емкость между одними электродами увеличивается, а между другими – уменьшается. Образуется дифференциальная емкостная структура.

Измерение происходит за счёт высокочувствительного АЦП (Аналого-Цифровой Преобразователь). Эта схема измеряет крошечные изменения дифференциальной емкости. Полученный аналоговый сигнал преобразуется в цифровое значение. Цифровое значение проходит через цифровые фильтры (которые можно настраивать) и помещается в выходной регистр данных. Чтение данных можно осуществлять микроконтроллером (например, Arduino, STM32 или ESP32), считывая цифровое значение из регистра данных датчика через интерфейсы I2C (Inter-Integrated Circuit), I3C (Improved Inter-Integrated Circuit) или SPI (Serial Peripheral Interface).

Принцип работы блока

Основная функция блока – обработка цифровых значений, полученных с микросхемы IMU. Данные, полученные с IMU, обрабатываются микроконтроллером, а точнее цифровыми фильтрами, а также программами преобразования цифрового кода в значения физического перемещения. В дальнейшем эти данные передаются на устройство пользователя в виде команд, посредством беспроводной связи на основе протокола BLE (Bluetooth Low Energy).

Способы осуществления питания для блока

Работать блок будет от аккумулятора, заряжаемого от USB (Universal Serial Bus) и/или от беспроводной зарядки на основе воздушного трансформатора.

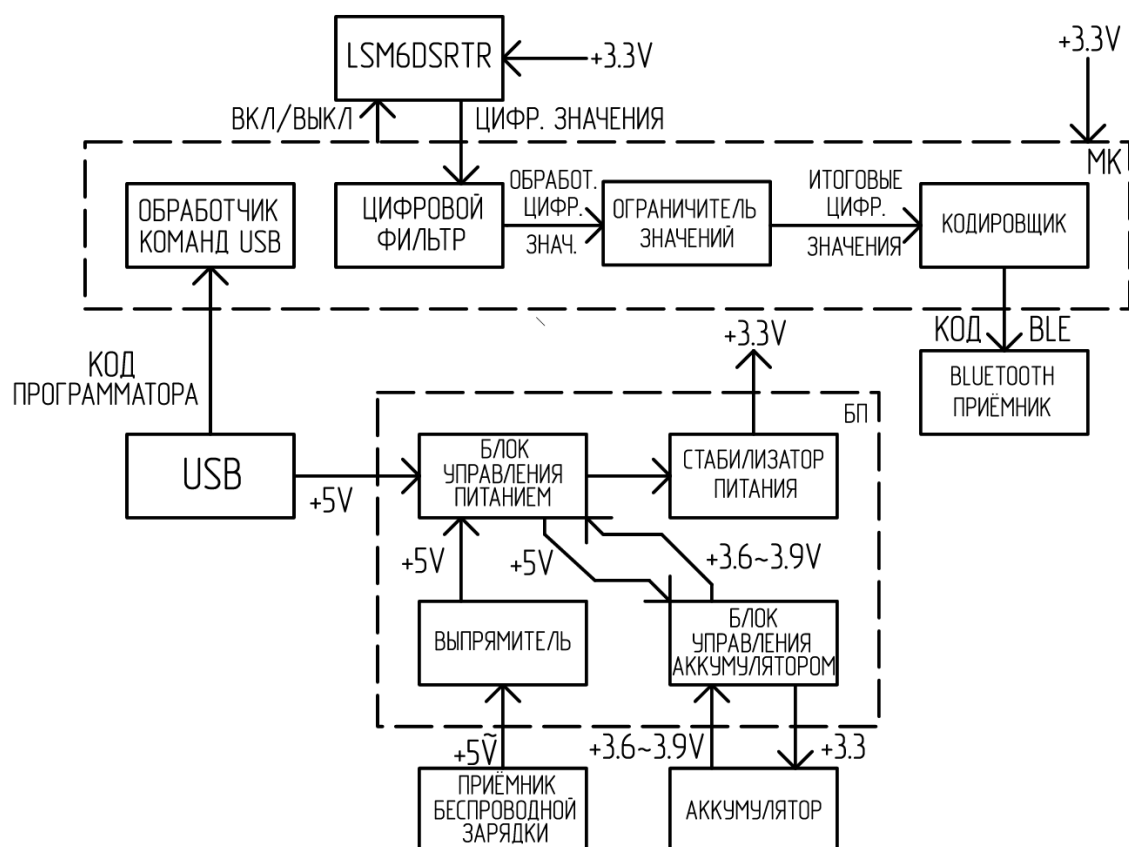


Рис. 3. Функциональная схема блока

Использование блока

Примерный размеры блока будут 50x25x10 мм. Эти размеры позволяют использовать его в устройствах, габариты которых сравнимы с привычными компьютерными мышами и геймпадами. Полученные с блока данные можно будет использовать при работе в САПР, для управления промышленными манипуляторами и дронами.

Преимущества устройства:

1. Вращение и перемещение по всем 3-м осям.
2. Отсутствие подвижных частей.
3. Беспроводная передача данных.
4. Низкая себестоимость. Около 1500 рублей.
5. Небольшой размер. 50x25x10 мм.

Сферы применения устройства:

1. Управление робототехникой.
2. Работа в САПР.
3. Различное взаимодействия с цифровой техникой для работы в 3Д.

Библиографический список

1. Информация о наборах пилотирования БПЛА [Электронный ресурс]
URL: <https://mydrone.ru> (дата обращения: 01.11.2025)

2. Информация о устройствах компании 3DConnexion [Электронный ресурс] URL: <https://3logic.ru/vendors/3dconnexion> (дата обращения: 01.11.2025)
3. Bluetooth specification [Электронный ресурс] URL: <http://www.bluetooth.com/> (дата обращения: 02.11.2025)
4. Проблемы проектирования и эксплуатации беспроводных устройств, функционирующих в нелицензируемом диапазоне ISM 2,4ГГц и пути их решения // Беспроводные технологии. 2006. № 3.
5. Прохорцов А.В., Богданов М.Б., Савельев В.В., Сухинин Б.В., Гаскова Н.Д. Способ уменьшения погрешностей бесплатформенной инерциальной навигационной системы. Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Издание Российской академии ракетных и артиллерийских наук. М., 2009. Вып.2(60). С. 31–34.
6. Терешков В. М. Прямой метод оценивания погрешностей датчиков бесплатформенных ИНС. Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Серия «Приборостроение». М., 2010.
7. Бромберг П. В. Теория инерциальных систем навигации. – М.: Наука, 1979. – 296 с.

© Кокорышкин Ф.Р., 2025

И.А. КОРЕПАНОВ

druidvanay@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМА ГЕНЕРАЦИИ И КОНТРОЛЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация: разработана система генерации и контроля магнитного поля на основе катушек Гельмгольца. Целью работы являлось создание бюджетного и мобильного решения для задач калибровки магнитных датчиков, в отличие от дорогостоящих и громоздких промышленных аналогов. В основе системы лежит микроконтроллер Arduino Nano, управляющий генератором сигналов AD9833. Силовая часть реализована на MOSFET-транзисторах, а для обратной связи используется датчик Холла UGN3503U. В результате расчета параметров катушек было получено результирующее магнитное поле величиной 209 мкТл. Проведенный анализ погрешностей показал, что суммарная погрешность системы составляет 12,43 %, что приемлемо для многих прикладных задач. Система обладает преимуществами в стоимости, мобильности и простоте эксплуатации.

Ключевые слова: катушка Гельмгольца, генерация магнитного поля, микроконтроллер, Arduino Nano, калибровка датчиков, AD9833.

Магнитное поле является фундаментальным физическим параметром, контроль и генерация которого необходимы в таких областях, как приборостроение, геология, медицина и научные исследования [1]. Одной из ключевых задач является калибровка магниточувствительных элементов измерительных приборов, например, инклинометров. Существующие установки для таких задач, такие как УАК-СИ или решения от компаний «Sperry-Sun» и «Geolink», отличаются высокой точностью, но при этом имеют значительную стоимость, крупные габариты и требуют стационарных лабораторных условий [2]. Это ограничивает их применение в полевых условиях или в малобюджетных проектах.

Целью данной работы являлась разработка системы генерации и контроля магнитного поля, лишенной указанных недостатков. Основные задачи включили: выбор доступной элементной базы, проектирование структурной схемы, расчет параметров катушек Гельмгольца и оценку суммарной погрешности системы. В качестве целевых параметров были заданы частота генерации 300 Гц и магнитная индукция 200 мкТл.

Структурная схема разработанной системы представлена на рис. 1. Ее работу можно описать следующим алгоритмом: микроконтроллер формирует цифровой сигнал для специализированной микросхемы генератора AD9833,

которая осуществляет цифро-аналоговое преобразование и выдает синусоидальный сигнал. Далее этот сигнал усиливается по току с помощью схемы на MOSFET-транзисторах IRF7105 и подается на катушки Гельмгольца, где и формируется опорное магнитное поле. Для контроля его параметров используется датчик Холла UGN3503U, сигнал с которого через встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) микроконтроллера возвращается в систему для корректировки.

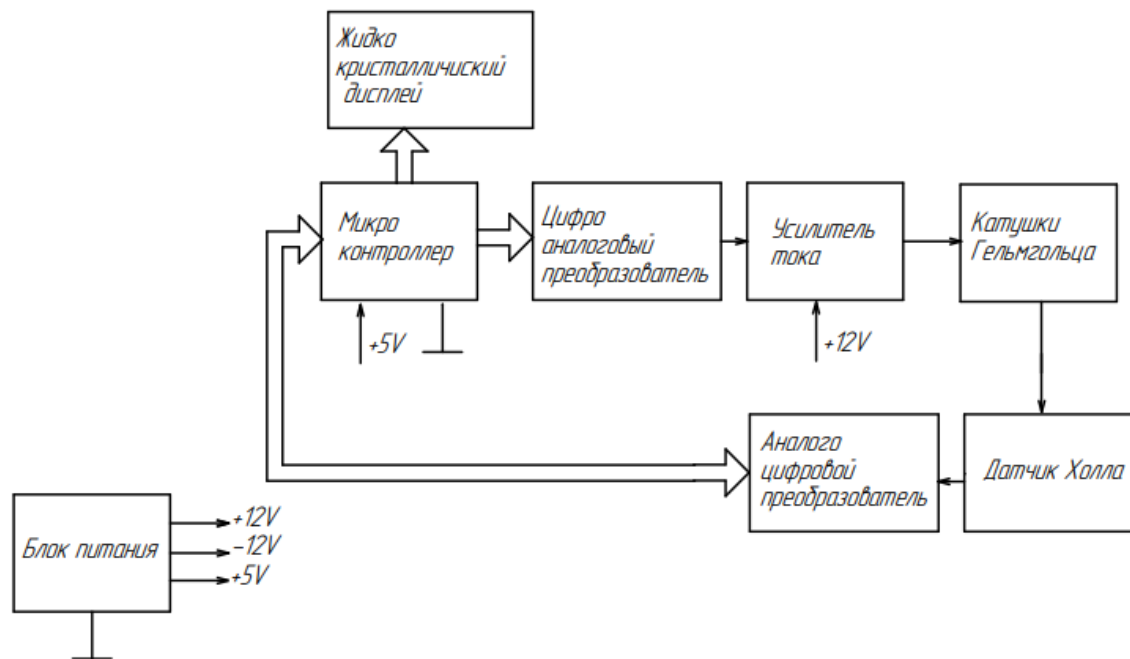


Рис. 1. Структурная схема системы генерации и контроля магнитного поля

В качестве основы системы был выбран микроконтроллер Arduino Nano на базе ATmega328p в силу его доступности, развитой периферии и простоты программирования. Генератор сигналов AD9833 обеспечивает высокую точность формирования синусоиды с разрешением по частоте 28 бит. Для создания магнитного поля использована классическая конфигурация из двух пар катушек Гельмгольца, расположенных перпендикулярно друг другу, что позволяет создавать результирующее поле в плоскости. Расчет индукции магнитного поля B_i для одной пары катушек проводился по формуле (1):

$$B_i = \mu\mu_0 \cdot \frac{I \cdot w}{R} \cdot (1 + \alpha^2)^{-3/2}, \quad (1)$$

где μ – относительная магнитная проницаемость среды, μ_0 – магнитная постоянная, I – ток в катушке, w – число витков, R – радиус катушки, α – безразмерный коэффициент. Результирующее поле для двух перпендикулярных пар катушек рассчитывалось как $B_{1+2} = \sqrt{B_{i1}^2 + B_{i2}^2}$.

На основании расчетов по формуле (1) с параметрами $I_{\text{ax}} = 1 \text{ А}$, $w = 100$ витков, $R = 0,3 \text{ м}$ была определена индукция магнитного поля от одной пары катушек $B_i \approx 148 \text{ мкТл}$. Результирующее магнитное поле в центре системы из двух перпендикулярных пар составило $B_{1+2} \approx 209 \text{ мкТл}$, что соответствует заданному техническому требованию.

Важнейшим этапом работы была оценка погрешностей системы. Основные источники погрешностей и их вклад приведены ниже:

- Погрешность датчика Холла UGN3503U (нелинейность): $\delta_{\text{д}} = 1 \text{ \%}$.
- Погрешность генератора сигналов AD9833: $\delta_{\text{м}} = 0,5 \text{ \%}$.
- Погрешность усилителя тока на MOSFET-транзисторах (учет разброса параметров и температурного дрейфа): $\delta_{\text{и}} = 10,87 \text{ \%}$.
- Погрешность кварцевого резонатора: $\delta_{\text{кр}} = 0,0021 \text{ \%}$.

Суммарная погрешность была рассчитана по формуле (2) и составила:

$$\delta_{\Sigma} = \sqrt{\delta_{\text{д}}^2 + \delta_{\text{м}}^2 + \delta_{\text{и}}^2 + \delta_{\text{кр}}^2} = \sqrt{1^2 + 0,5^2 + 10,87^2 + 0,0021^2} \approx 12,43\%. \quad (2)$$

Как видно из расчета, основной вклад в погрешность вносит схема усиления тока. Несмотря на относительно высокое значение суммарной погрешности, разработанная система успешно решает задачу создания бюджетного и мобильного решения. Ее ключевые преимущества – стоимость на порядки ниже промышленных установок, возможность использования в полевых условиях и простота управления. Данная точность является приемлемой для ряда прикладных задач, не требующих прецизионных измерений, таких как учебные лабораторные работы, предварительная калибровка и отладка аппаратуры.

В ходе работы была успешно разработана и реализована система генерации и контроля магнитного поля. Достигнута цель по созданию бюджетного и мобильного устройства, генерирующего магнитное поле с индукцией 209 мкТл на частоте 300 Гц. Проведенный анализ показал, что суммарная погрешность системы составляет 12,43 %, при этом основным источником погрешности является схема усиления тока. Полученные результаты демонстрируют жизнеспособность подхода с использованием доступной компонентной базы для создания специализированных измерительных комплексов. Перспективы дальнейших исследований видятся в снижении погрешности путем применения более точных датчиков магнитного поля и прецизионных активных компонентов в силовой части системы.

Библиографический список

1. Шапошников А.М. Система генерирования вращающихся магнитных полей на базе системы колец Гельмгольца. Казань: Изд. КГТУ, 2010. Т. 5. С. 304.
2. Шапошников А.М. Программно-аппаратная система генерации вращающихся магнитных полей и контроля их параметров на базе системы

пар колец Гельмгольца // А.М. Шапошников, А.Г. Миловзоров, Ю.П. Жиляев. Барнаул: Изд. АлтГТУ, 2009. С. 1–203.

3. Официальный сайт Arduino+ [Электронный ресурс]. URL: <https://arduinoplus.ru/arduino-nano/> (дата обращения: 15.06.2024).
4. Datasheet AD9833. Programmable Waveform Generator. Analog Devices [Электронный ресурс]. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9833.pdf> (дата обращения: 15.06.2024).

© Корепанов И.А., 2025

К.О. ЛЕЛЕЙТНЕР, Б.Р. МАВЛЕМБИРДИН

kirilleleytner@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Р. ФАРРАХОВ

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ЛОГАРИФМИЧЕСКОЙ СПИРАЛИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ЗАХВАТНОГО УСТРОЙСТВА

Аннотация: в статье представлено описание перспективной разработки в области робототехнических манипуляторов – устройства захвата, имитирующего щупальце осьминога. С использованием модели логарифмической спирали выполнены расчеты геометрических параметров конструкции, определяющих ее способность к обхвату объектов. Приведено обоснование выбора компонентов.

Ключевые слова: робот-манипулятор, захватное устройство, логарифмическая спираль, гибкий робот.

Введение

Робототехника и протезирование являются одними из бурно развивающихся областей техники, где используются механизмы захвата объектов. Появляются новые методы захвата объектов и взаимодействия с ними.

К этому моменту уже существует такие способы захвата объектов:

1. Двухпальцевые захваты – классический вариант для простых операций перемещений.
2. Многопальцевые захваты – имитация человеческой руки, позволяет брать объекты более сложной формы.
3. Поворотные захваты – позволяет вращать деталь.
4. Вакуумные – захват осуществляется с помощью создания области низкого давления в точке контакта с объектом.
5. Магнитные – сильное магнитное поле способно притягивать и удерживать различные объекты, подверженные магнитному полю.

Все представленные методы имеют много преимуществ, среди которых ключевым является высокая сила захвата предметов или деталей. Но у этих методов имеется ряд недостатков:

1. Сложность изготовления – приведенные выше технические решения требуют множества прецизионных деталей.
2. Высокая специализация каждого вида захвата – практически полностью отсутствует унификация захватываемых объектов.

Перспективным направлением для преодоления этих ограничений является бионический подход. В природе встречаются высокоэффективные и

адаптивные способы манипуляции объектами, среди которых особый интерес представляет механизм захвата, используемый осьминогами. Их щупальцы обладают уникальной способностью надежно обхватывать объекты произвольной формы. Целью данной работы является обзор и математическое моделирование именно этого бионического принципа для проектирования перспективного робототехнического захватного устройства.

Моделирование конструкции

При рассмотрении сжатого щупальца осьминога можно заметить практически полное сходство с функцией логарифмической спирали в полярных координатах [1].

Робот-манипулятор состоит из четырех основных компонентов: корпус, кабель, двигатель и система управления. За счет стягивания кабеля, продеваемого через все сегменты, можно добиться скручивания щупальца и захват объекта. Стягивание кабеля осуществляется работой электродвигателя.

В качестве примера возьмем спираль с двумя тросами, она может изгибаться на плоскости в двух направлениях. Выражение для логарифмической спирали (ρ ; θ – полярные координаты):

$$\rho(\theta) = ae^{b\theta}, b = \operatorname{ctg} \psi, \quad (1)$$

где $a > 0$ – коэффициент масштабирования, а b – котангенс постоянного полярного тангенциального угла ψ , определяемого как угол между касательной к точке на спирали и линией, соединяющей точку с началом координат. Определим центральную спираль, которая будет характеризовать центральную ось робота:

$$\rho_c(\theta) = \frac{a}{2}(e^{2\pi b} + 1)e^{b\theta} \quad (2)$$

Лучи, начинающиеся от начала координат с фиксированными угловыми интервалами (по умолчанию для робота выбрано значение ($\Delta\theta = 30^\circ$, если явно не указано иное), пересекаются с точками на исходной и центральной спиралях, соединяя их в четырехугольники. В ходе этого процесса создается одна часть робота, к которой мы прикрепляем эластичный слой, обеспечивающий восстанавливающую силу, что имеет решающее значение для гибкости робота. Вторая часть получается путем зеркального отображения относительно центральной оси. В нашей конструкции толщина эластичного слоя выбрана равной 5% от ширины блока для 2-х кабельных роботов.

Угол конусности (φ) робота зависит от параметров спирали следующим образом:

$$\varphi = 2 \arctan \left(\frac{\frac{1}{2}\delta(\theta)}{L(-\infty, \theta)} \right) = 2 \arctan \left(\frac{b(e^{2\pi b} - 1)}{\sqrt{b^2 + 1}(e^{2\pi b} + 1)} \right), \quad (3)$$

где $\delta(\theta) = ae^{b(\theta+2\pi)} - ae^{b\theta}$ – ширина робота под углом θ ;

$L(-\infty, \theta)$ – длина центральной спирали от ‘виртуального’ конца ($\theta \rightarrow -\infty$) до заданной точки (угол θ).

$$L(-\infty, \theta) = \int_{-\infty}^{\theta} \sqrt{p_c^2 + \dot{p}_c^2} d\theta = \frac{p_c(\theta)}{\cos\psi} \quad (4)$$

Тот факт, что φ в (3) не зависит от θ , показывает, что спираль сужается при увеличении длины.

Длина центральной оси робота находится в следующей зависимости от параметров спирали:

$$L(0, \theta_0) = \int_0^{\theta_0} \sqrt{p_c^2 + \dot{p}_c^2} d\theta = \frac{p_c(\theta_0) - p_c(0)}{\cos\psi} = \frac{\sqrt{b^2 + 1} a_1}{b} (e^{b\theta_0} - 1) \quad (5)$$

Расчет по данным формулам с использованием пакета Matlab позволил смоделировать геометрическую модель параметров щупальца на основе логарифмической спирали, представленную на рис. 1.

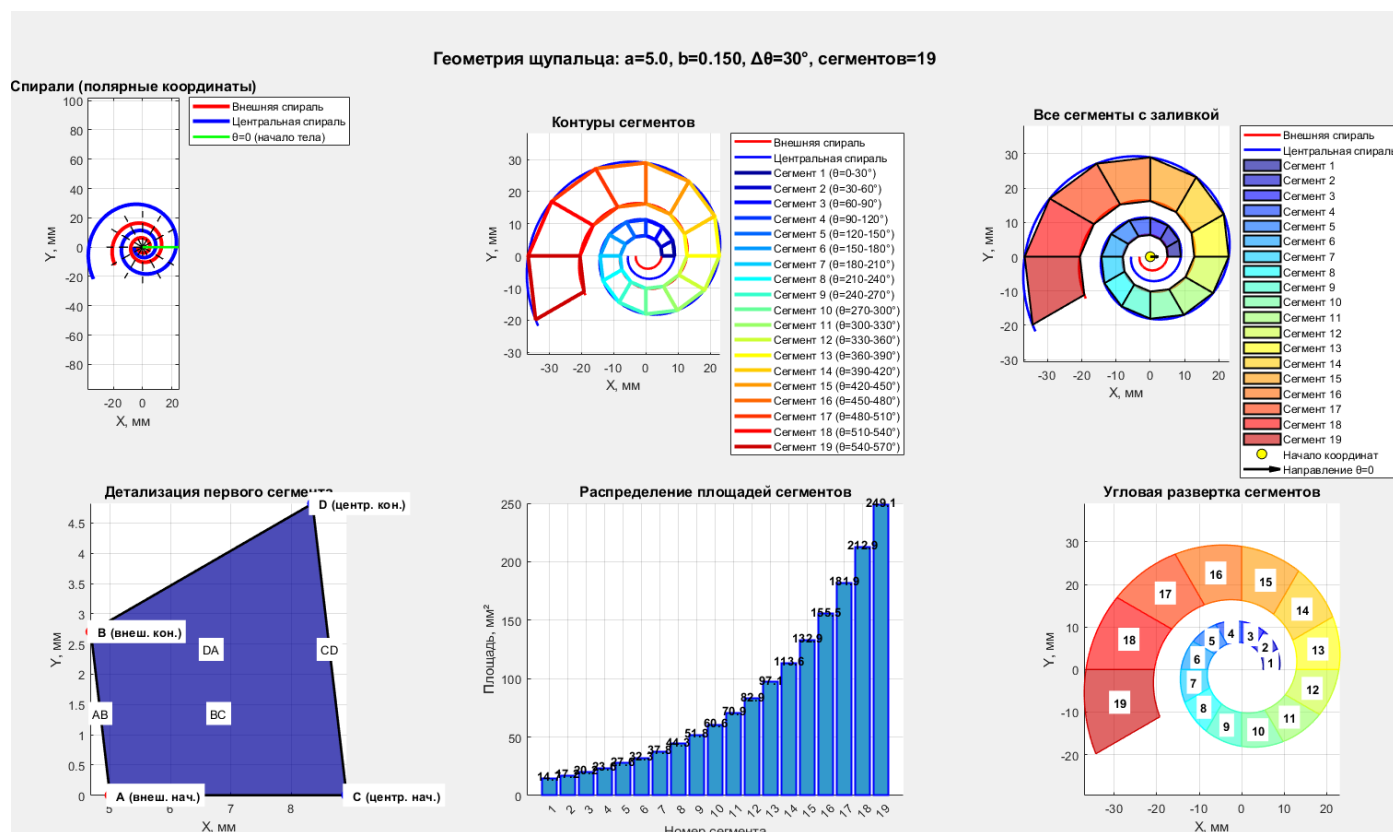


Рис. 1. Расчетная геометрия сегментов манипулятора, построенных на основе логарифмической спирали

Проектирование электрической схемы

К электрической системе манипулятора входят 2 электрических двигателя постоянного тока с мини редукторами. Был выбран именно этот тип двигателя, так как размеры манипулятора небольшие и не требуется большой крутящий

момент. Эти двигатели питаются от постоянного напряжения 6 В, частота вращения – 200 об/мин.

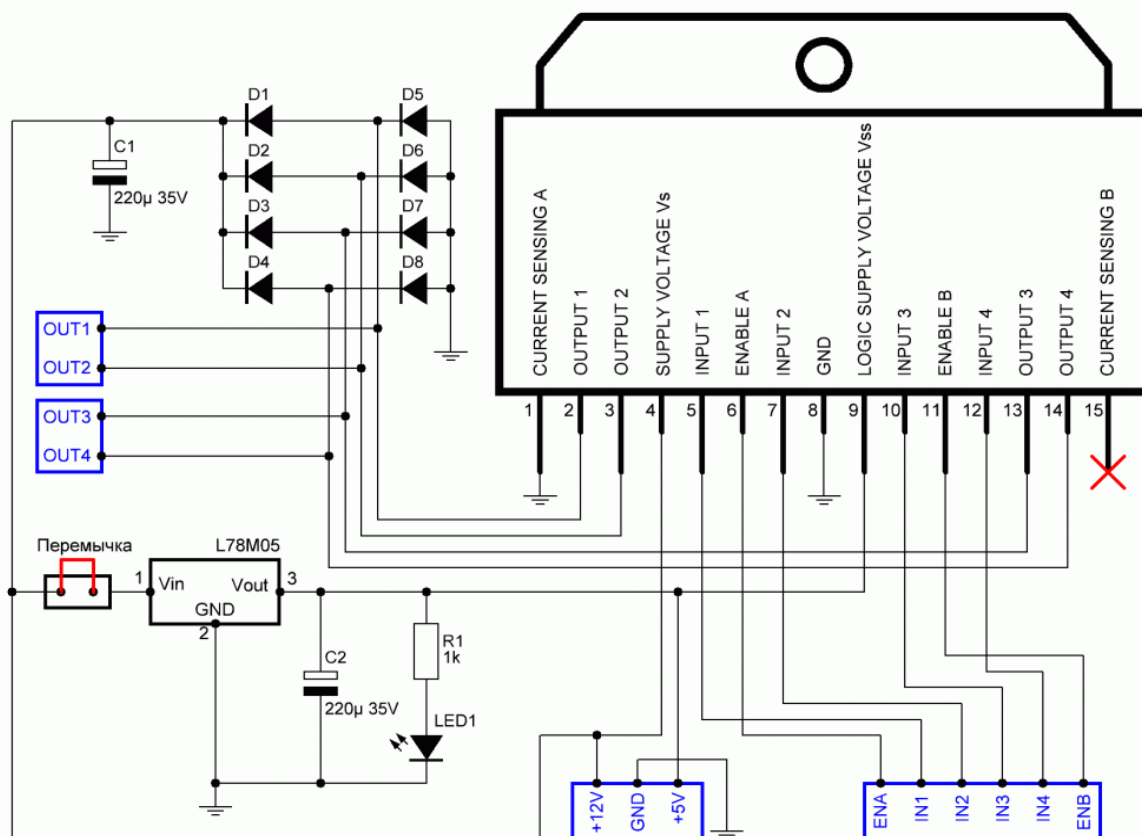


Рис. 2. Электрическая схема модуля L298N

тока через обмотку, благодаря чему двигатель начинает вращаться в противоположную сторону.

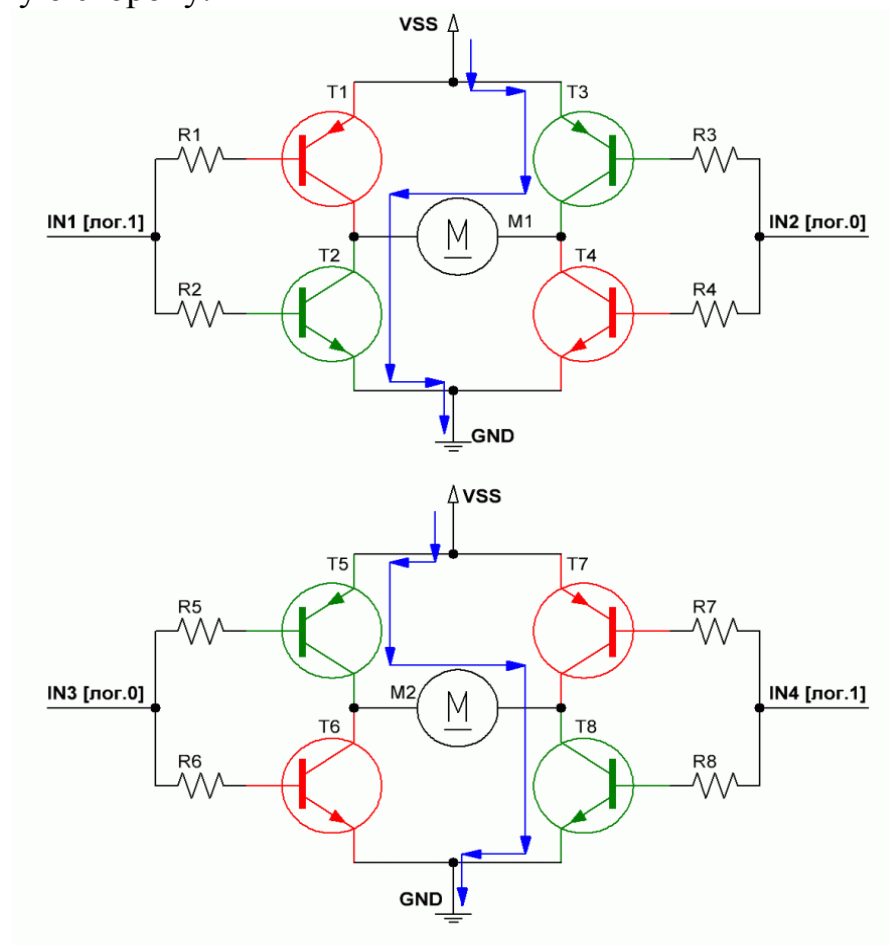


Рис. 3. Транзисторные мосты Н-типа

Управление электродвигателями будет осуществляться микроконтроллером ESP32 [3].

ESP32 оснащен 32-битным процессором с тактовой частотой до 240 МГц. Объем памяти: 520 КБ статической оперативной памяти и 448 КБ постоянной памяти. Работает микроконтроллер от напряжения 3.3 В. Есть возможность работы в среде Arduino IDE для простого программирования или применяя официальное программное обеспечение ESP-IDF для использования всех функций микроконтроллера.

Микроконтроллер обладает двумя аппаратными модулями для генерации ШИМ.

1. LEDC – используется для управления светодиодами, сервоприводами, регулировки скорости DC-двигателей. Позволяет организовывать до 16 независимых каналов ШИМ с программно настраиваемой частотой до 5 кГц и разрешением до 16 бит. Это позволяет плавно регулировать мощность. Конфигурируется с помощью простых функций, таких как `ledcSetup()`, `ledcAttachPin()` и `ledcWrite()`.

2. MCPWM (Motor Control PWM) – используется для точного управления щеточными, бесщеточными и шаговыми двигателями и силовыми

преобразователями. Генерирует до 6 выходных сигналов ШИМ. Также поддерживает функции необходимые для управлений через H-мост:

- ✧ генерация «мертвого времени» для защиты силовых ключей от сквозных токов;
- ✧ детекция аварийных сигналов для мгновенного отключения при перегрузке по току или напряжению;
- ✧ сигналы синхронизации нескольких ШИМ-таймеров;
- ✧ захват сигналов для измерения положения ротора по датчикам Холла.

Использование рассмотренных выше функций микроконтроллера позволит организовать управление электродвигателями для скручивания и раскручивания тела манипулятора при захвате объектов различной формы

Заключение

Таким образом, работа посвящена решению актуальной проблемы специализации существующих робототехнических захватов через применение бионического подхода. Рассмотренная модель на основе логарифмической спирали позволяет проектировать манипулятор, способный адаптивно обхватывать объекты сложной формы, а расчетные формулы дают четкую связь между математическими параметрами и геометрией конечного изделия. В качестве аппаратной платформы управления связка «драйвер L298N – микроконтроллер ESP32» обеспечивает необходимую точность позиционирования и силовые характеристики.

В перспективе является работа по изготовлению физического прототипа, проведении экспериментов по захвату объектов различной формы и массы, а также разработке алгоритмов адаптивного управления на основе обратной связи.

Библиографический список

1. SpyRobs: Logarithmic Spiral-shaped robots for versatile grasping across scales [Электронный ресурс] – Китайский университет науки и технологий – URL: <https://arxiv.org/pdf/2303.09861> (дата обращения 30.10.2025)
2. L298 [Электронный ресурс] – STMicroelectronics – URL: https://DataSheet_L298N.pdf (дата обращения: 1.11.2025).
3. ESP32 [Электронный ресурс] – Espressif – URL: https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения 8.11.2025)
4. MATLAB – полный самоучитель [Электронный ресурс] - ДМК - URL: <https://lib.agu.site/upload/iblock/ed1/MATLAB.%20Complete%20tutorial.pdf> (дата обращения: 31.10.2025).

© Лелейтнер К.О., Мавлембирдин Б.Р., 2025

Д.И. ПУТИНЦЕВ

putintsevdi@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

УСТРОЙСТВО ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ МЫШЦ ПРИ РЕАБИЛИТАЦИИ

Аннотация: в статье представлены результаты разработки портативного устройства для контроля состояния нервно-мышечного аппарата (НМА) в процессе реабилитации. Устройство основано на методах электродиагностики и электростимуляции, обеспечивает точное измерение параметров мышечной активности и может использоваться в клинических и домашних условиях.

Ключевые слова: реабилитация, электромиография, нервно-мышечный аппарат, электростимуляция.

Восстановление функций мышц после травм и заболеваний остаётся одной из ключевых задач современной физиотерапии. Одним из наиболее эффективных методов контроля и стимуляции мышечной активности является электромиография (ЭМГ). Существующие коммерческие устройства часто обладают рядом недостатков. Ниже приведены примеры существующих устройств:

1. *Нейро-ЭМГ-Микро:* данный прибор обладает ограниченной функциональностью по сравнению со стационарными системами, экран неудобен при работе в перчатках, а также высокая стоимость для медицинских учреждений.

2. *Нейро-МВП-8:* требуется специальное обучение персонала, большие габаритные размеры, ограниченная мобильность, высокая стоимость оборудования.

3. *НМА-4-01 «Нейромиан»:* чувствителен к электромагнитным помехам, ограниченная совместимость с зарубежными медицинскими системами, меньшее количество каналов по сравнению с зарубежными аналогами.

Разработанное в ходе работы устройство обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с существующими аналогами, что делает его конкурентноспособным решением на рынке медицинской техники.

Описание устройства

Структурная схема устройства приведена на рис. 1.

На основе структурной схемы была разработана принципиальная схема, которое состоит из следующих компонентов:

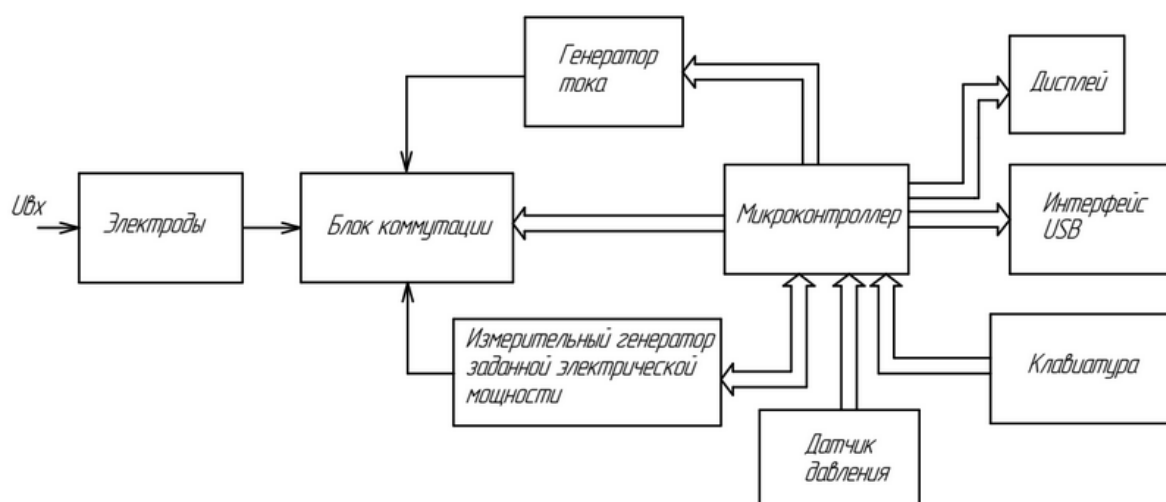


Рис. 1. Структурная схема устройства

– Электроды используются для подачи на мышцы электрических импульсов, чтобы вызвать их сокращение, для дальнейшего определения степени поврежденности НМА.

– Блок коммутации предназначен для того, чтобы задавать величину длительности импульса, воздействующего на НМА человека.

– Генератор тока на структурной схеме необходим для обеспечения точного и стабильного электрического сигнала, который используется для электростимуляции мышц, постепенно повышающимся с помощью цифрового потенциометра, электрическим током. Это помогает вызвать мышечную активность, которую затем можно измерить и проанализировать.

– Измерительный генератор заданной электрической мощности с блоком восьмиканального мультиплексора используется для стимуляции мышц импульсами электрической мощности определенного значения.

– Микроконтроллер STM32F038C6T7 играет критически важную роль, обеспечивая сбор и обработку данных, управление устройством, взаимодействие с пользователем, передачу данных и калибровку системы.

– Дисплей показывает данные, полученные от микроконтроллера, в реальном времени: графики электромиографических сигналов, числовые значения амплитуд и частот.

– USB-интерфейс используется для передачи данных, собранных аппаратом ЭМГ, на компьютер или другое внешнее устройство для дальнейшего анализа, хранения и обработки.

– Клавиатурой можно управлять различными функциями устройства, включая настройку параметров, выбор режимов работы, запуск и остановку измерений.

– Датчик давления служит для определения момента сокращения мышцы, для того, чтобы зафиксировать показатели импульсов в момент, когда НМА человека отвечает на воздействие тока.

Принцип работы

Принцип работы основан на методах электростимуляции и электродиагностики нервно-мышечного аппарата (НМА). Общий алгоритм работы можно разбить на несколько этапов.

Общая последовательность работы:

1. Подготовка к установке электродов.

На кожу пациента в области исследуемой мышцы и на удаленном участке (для замыкания цепи) устанавливаются одноразовые поверхностные электроды (например, Ambu BlueSensor). Активный электрод размещается на двигательной точке мышцы, пассивный – на нейтральном участке тела.

2. Генерация стимулирующего сигнала.

Микроконтроллер (STM32F038C6T7) через цифровой потенциометр и блок регулирования напряжения формирует управляющее напряжение. Это напряжение поступает на блок УИН-ПТН (усилитель тока) на операционном усилителе OP290 и транзисторах. Данный блок генерирует точный и стабильный импульсный ток заданной силы для электростимуляции мышц.

3. Коммутация и подача импульсов на пациента.

Сгенерированный ток через блок коммутации электродов подается на активный электрод. Благодаря блоку коммутации, можно менять полярность напряжения, воздействующего на электроды, что повышает эффективность стимуляции.

4. Регистрация, анализ и сравнение данных.

Датчик давления фиксирует момент механического сокращения мышцы. Сигнал с датчика фильтруется и усиливается операционным усилителем и поступает на АЦП микроконтроллера. Далее микроконтроллер анализирует данные, путём постепенного увеличения силы тока и длительности импульса определяются ключевые диагностические параметры: реобазы (минимальная сила тока, вызывающая сокращения мышцы) и хронаксия (минимальное время действия тока удвоенной реобазы, необходимое для возбуждения мышцы). На основе полученных значения и анализа кривой «сила-длительность» делается вывод о состоянии НМА.

Безопасность эксплуатации

Расчёт тока, проходящего через пациента, показал, что даже при минимальном сопротивлении кожи (2000 Ом) ток не превышает 7 мА, что находится в пределах безопасного диапазона для электростимуляции.

Таким образом, разработанное устройство успешно устраняет основные недостатки существующих систем, предлагая комплексное решение, которое сочетает в себе портативность, безопасность, точность и доступность. Внедрение

прибора в клиническую практику может способствовать повышению качества и эффективности реабилитационных процедур.

Библиографический список

1. Гусев, В. Г. Электроимпедансная томография: современные подходы и перспективы [Текст] / В. Г. Гусев, С. А. Зеленов, Н. В. Мирин. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. – 240 с.
2. Бургиньон, И. С. Реобазы и хронаксия: основные положения и современные исследования [Текст] / И. С. Бургиньон. – Санкт-Петербург: Научное издательство, 2018. – 320 с.
3. Демин, А. Ю. Измерительные генераторы заданной электрической мощности [Текст] / А. Ю. Демин. – 2010. – 137 с.
4. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию электромиографа "Нейро-ЭМГ-Микро" [Текст]. – Москва: ООО "МедТех", 2019. – 50 с.
5. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию электромиографа "Нейро-МВП-8" [Текст]. – Санкт-Петербург: ЗАО "НейроМед", 2021. – 60 с.
6. Инструкция по эксплуатации и техническому обслуживанию электромиографа "Нейромиан" [Текст] / ООО НПКФ «Медиком МТД». – 2022. 4 с.

© Путинцев Д.И., 2025

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРА УСИЛЕНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Аннотация: в данной работе исследуется задача обеспечения устойчивости системы автоматического управления (САУ) беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Используя ряд математических методов и критериев, определено критическое значение одного из параметров САУ, влияющее на запасы устойчивости.

Ключевые слова: устойчивость, коэффициент усиления, критерий Найквиста, метод D-разбиения, критический коэффициент усиления, моделирование.

Широкое применение БПЛА в различных областях: военное дело, гражданская авиация, сельское хозяйство, мониторинг окружающей среды и других, требует разработки высокоэффективных и безопасных систем управления, особенно в критических фазах полёта, таких как посадка. Неустойчивый полет недопустим, так как ведет к финансовым потерям, ущербу инфраструктуре и создает прямую угрозу безопасности людей.

Функциональная схема (рис.1) системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом включает в себя датчик курса (ДК), усилитель (У), элементы сравнения (ЭС1 и ЭС2), двигатель рулевого привода (ДРП) и редуктор (Р), охваченные местной обратной связью (МОС), объект управления (ОУ).

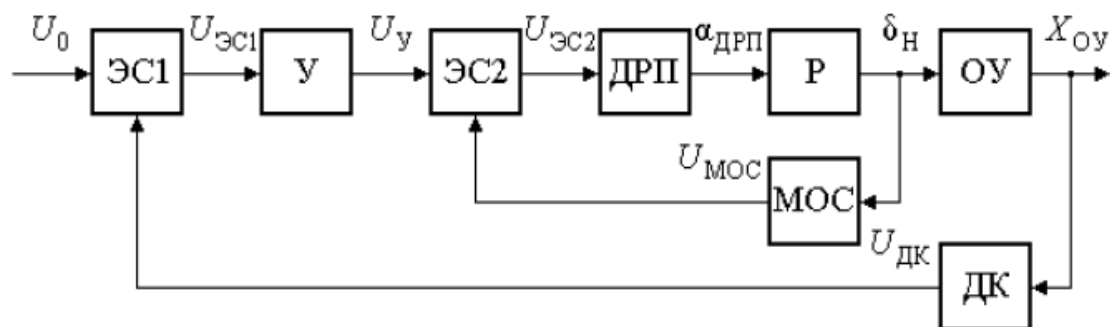


Рис. 1. Функциональная схема системы

Каждый блок, входящий в систему описывается своим дифференциальным уравнением:

первый элемент сравнения $U_{\Sigma C1} = U_0 - U_{ДК}$

усилитель $U_y = K_y U_{\Sigma C1}$

второй элемент сравнения $U_{\Sigma C2} = U_y - U_{МОС}$

двигатель рулевого привода $T_{ДРП} \frac{d^2 \alpha_{ДРП}}{dt^2} + \frac{d\alpha_{ДРП}}{dt} = K_{ДРП} U_{\Sigma C2}$

редуктор $\delta_H = K_R \alpha_{ДРП}$

местная обратная связь $U_{МОС} = K_{МОС} \delta_H$

объект управления $T_{ОУ} \frac{d^2 X_{ОУ}}{dt^2} + \frac{dX_{ОУ}}{dt} = K_{ОУ} \delta_H$

датчик курса $U_{ДК} = K_{ДК} X_{ОУ}$.

Для удобства дальнейшего анализа, составим передаточные функции блоков. Передаточная функция – один из способов математического описания динамической системы, широко используемые в теории управления, связи и цифровой обработке сигналов.

усилитель $W_y(p) = K_y$

двигатель рулевого привода $W_{ДРП}(p) = K_{ДРП} / [p(T_{ДРП}p + 1)]$

редуктор $W_R(p) = K_R$

местная обратная связь $W_{МОС}(p) = K_{МОС}$

объект управления $W(p) = K_{ОУ} / [p(T_{ОУ}p + 1)]$

датчик курса $W_{ДК}(p) = K_{ДК}$.

По передаточным функциям блоков видно, что САУ состоит из ряда типовых звеньев, принятых в теории управления: пропорциональные, инерционные звенья первого порядка, интегрирующее звено. Как известно на устойчивость системы сильное влияние оказывает общий коэффициент передачи системы, который будет определяться коэффициентами усиления отдельных звеньев. Считая коэффициенты усиления блоков рулевого привода, редуктора, объекта управления, обратных связей заданными, исследуем влияние на устойчивость коэффициента усиления усилителя.

Предположим, нам известны следующие значения параметров блоков: $K_{ДРП}=5$; $T_{ДРП}=0.03$; $K_R=0.02$; $K_{МОС}=1$; $K_{ОУ}=0.7$; $T_{ОУ}=0.5$.

Необходимо оценить K_y , при котором система будет устойчива.

Запишем передаточные функции разомкнутой и замкнутой систем для определения $K_{укрит}$.

$$W_{раз.}(p) = \frac{K_y K_{ОУ} K_{ДРП} K_R}{T_{ДРП} T_{ОУ} p^4 + (T_{ДРП} + T_{ОУ}) p^3 + (1 + T_{ОУ} K_{ДРП} K_R K_{МОС}) p^2 + p K_{ДРП} K_R K_{МОС}}$$

$$W_{\text{раз.}}(p) = \frac{0.007K_y}{0.015p^4 + 0.53p^3 + 1.05p^2 + 0.1p}$$

$$\Phi(p) = \frac{K_y K_{Oy} K_{ДРП} K_P}{T_{ДРП} T_{Oy} p^4 + (T_{ДРП} + T_{Oy}) p^3 + (1 + T_{Oy} K_{ДРП} K_P K_{МОС}) p^2 + p K_{ДРП} K_P K_{МОС} + K_y K_{Oy} K_{ДК} K_{ДРП} K_P}$$

$$\Phi(p) = \frac{0.007K_y}{0.015p^4 + 0.53p^3 + 1.05p^2 + 0.1p + 0.35K_y}$$

Для определения области устойчивости по неизвестному параметру, воспользуемся методом D-разбиения, на базе характеристического уравнения замкнутой системы. Приравняв его к нулю, заменив оператор $p=jw$, выведем выражение для коэффициента усиления в частотной области.

$$D(p) = 0.015p^4 + 0.53p^3 + 1.05p^2 + 0.1p + 0.35K_y = 0$$

$$K_y(jw) = -\frac{R(jw)}{Q(jw)} = X(w) + jY(w)$$

$$K_y(jw) = \frac{-0.015w^4 + 0.53jw^3 + 1.05w^2 - 0.1jw}{0.35} = \frac{-0.015w^4 + 1.05w^2}{0.35} + j \frac{0.53w^3 - 0.1w}{0.35}$$

Далее приравниваем $Y(w)=0$ для нахождения $w_{\text{крит.}}$, и подставляем в $X(w)$ для нахождения $K_{y\text{крит.}}$:

$$w_{\text{крит.}} = \pm \sqrt{\frac{1}{5.3}} \approx \pm 0.43 \rightarrow K_{y\text{крит.}} = 0.5645$$

Таким образом, для устойчивой работы системы берём значения от 0 до 0.5645. Допустим возьмём $K_y = K_{y\text{крит.}}/2 = 0.28225$.

Моделирование в среде MatLab (рис.2) подтверждает критическое значение $K_{y\text{крит.}} = 0.5645$.

Подставив в характеристическое уравнение $K_y = K_{y\text{крит.}}/2 = 0.28225$, проверим систему на устойчивость:

По критерию Гурвица:

$$D(p) = 0.015p^4 + 0.53p^3 + 1.05p^2 + 0.1p + 0.0987875,$$

где:

$$a_0 = 0.015; a_1 = 0.53; a_2 = 1.05; a_3 = 0.1; a_4 = 0.0987875$$

$$\begin{array}{ccc} a_1 & a_3 & 0 \\ \Delta_4 = a_0 & a_2 & a_4 = a_1 a_2 a_3 - a_1^2 a_4 - a_3^2 a_0 > 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \\ 0.05565 - 0.02774940875 - 0.00015 > 0 \\ 0.02775059125 > 0 \end{array}$$

Все условия выполняются, значит система устойчива.

По критерию Найквиста, если годограф разомкнутой системы не охватывает точку $(0;-1)$, то система устойчива. Моделирование в среде MatLab подтвердили данный факт (рис.3).

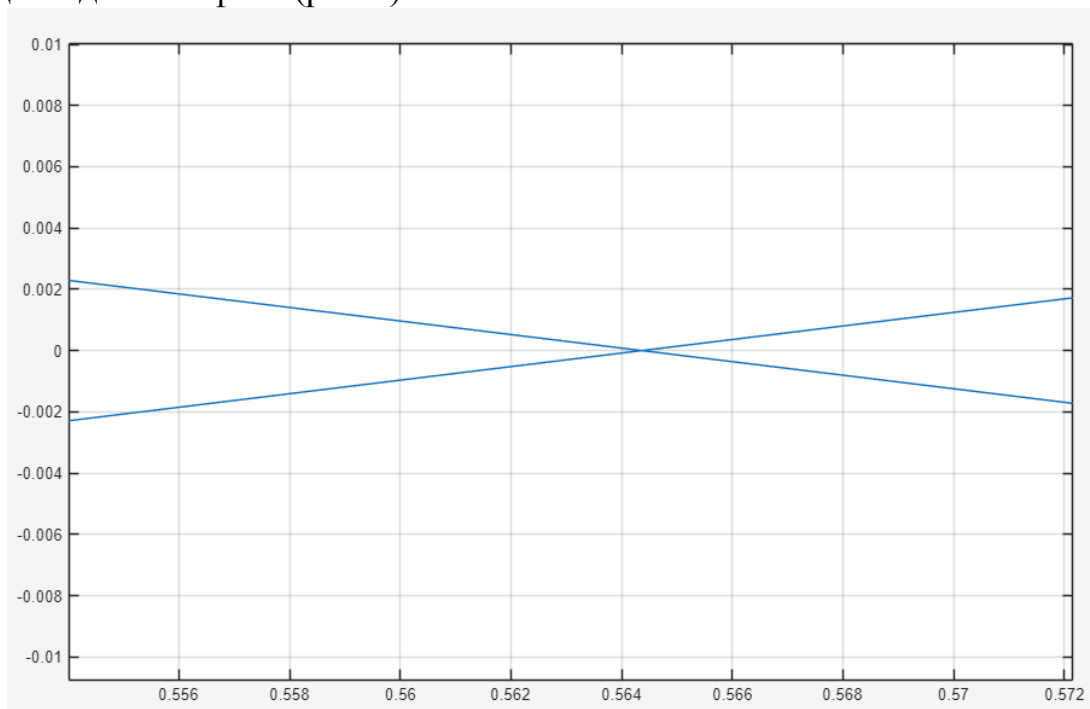


Рис. 2. Результаты моделирования системы в среде MatLab

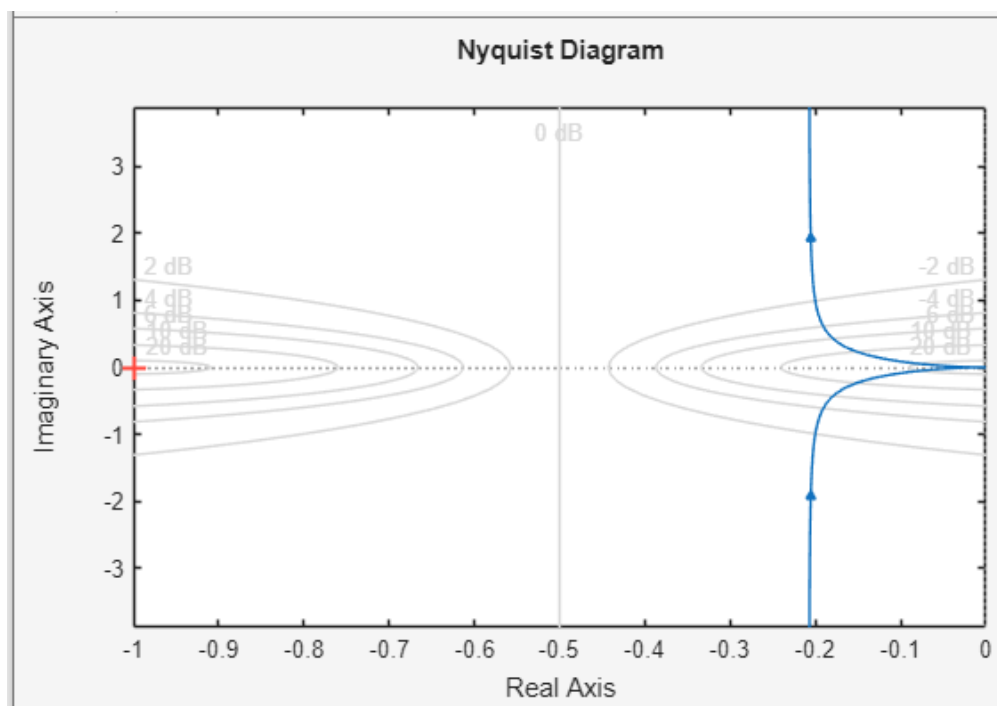


Рис. 3. Моделирование системы в среде MatLab, выполнение критерия Найквиста

Моделирование логарифмических амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (АЧХ и ФЧХ) наиболее наглядно позволяет определить запасы устойчивости по амплитуде и фазе (рис. 4).

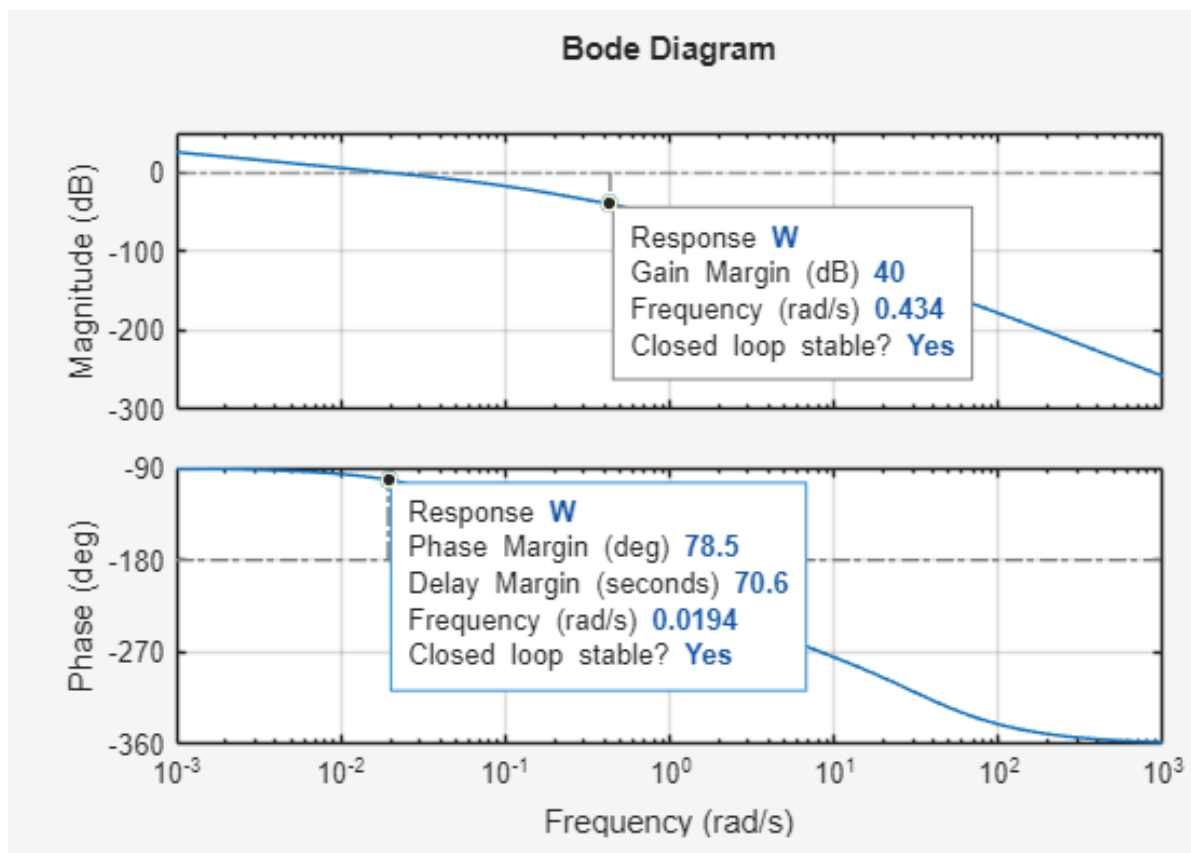


Рис. 4. Моделирование логарифмических АЧХ и ФЧХ в среде MatLab

Анализ логарифмических амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик (рис. 4) показывает, что запас устойчивости по амплитуде составляет 40 дБ, а по фазе – 78.5°.

Снижение коэффициента усиления до $K_y=0.1$ приводит к увеличению запасов устойчивости: по амплитуде – до 49 дБ, по фазе – до 85.8°

Но такое уменьшение K_y будет оправдано, если только мы останемся в требуемых допусках по общему коэффициенту передачи системы и показателям качества регулирования.

Моделирование переходной характеристики САУ (рис. 5) с $K_y=K_{y\text{крит.}}/2=0.28225$, подтверждает устойчивость системы.

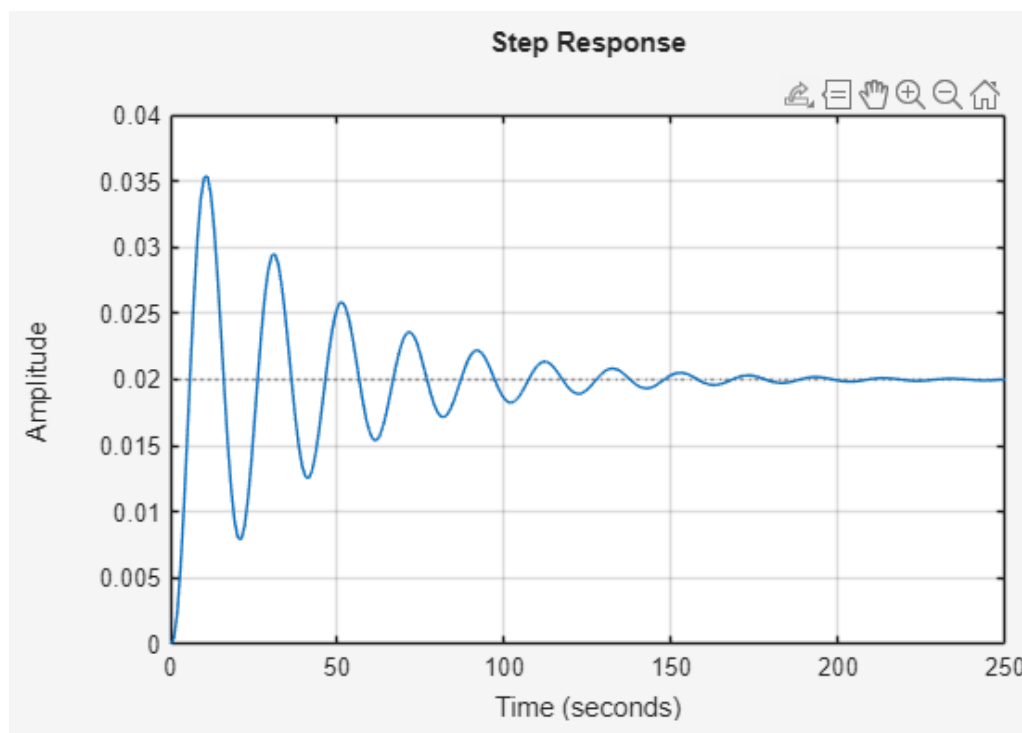


Рис. 5. Моделирование переходной характеристики в среде MatLab

Библиографический список

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления: учебник и практикум для вузов / Д. П. Ким. – Москва: Издательство Юрайт, 2025. – 309 с.
2. Теория автоматического управления: учебник / Е. Э. Страшинин, ТЗЗ А. Д. Заколяпин, С. П. Трофимов, А. А. Юрлова; Мин-во науки и высш. образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 456 с. – (Учебник УрФУ).
3. Информация о курсах лекции по теории автоматического управления (часть II) [Электронный ресурс] URL: <https://ftf.tsu.ru/wp-content/uploads/Kurs-lektsij-po-teorii-vtomaticheskogo-upravleniya.-CHast-2.pdf> (дата обращения 02.11.2025)

© Сандалов И.С., 2025

УДК 62-523.8

О.В. СТЕПАНЧИКОВ

oleg19.11@yandex.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ И РАСПИСАНИЯ ПОЛЕТОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СЕРВИСНЫХ СТАНЦИЙ

Аннотация: рассмотрены факторы, которые необходимо учитывать при планировании полетов БПЛА, выполняющих доставку различных грузов в сети автоматических сервисных станций. Рассмотрена возможность и оценена целесообразность применения генетического алгоритма в целях оптимального планирования полетов БПЛА.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, аэронавигация, сервисная станция, оптимизация, генетический алгоритм.

Введение

В настоящее время беспилотные летательные аппараты достаточно активно применяются в различных целях. Под разные задачи разработано большое количество БПЛА, которые могут отличаться типом силовой установки, аэродинамической схемой, однако все они относятся к летательным аппаратам и подвержены влиянию метеорологических условий, так как перемещаются в воздушной среде.

Существует проблема оптимального планирования полетов таких летательных аппаратов, при котором будет обеспечен комплексный учет технических и климатических факторов.

В данной работе проводится анализ метеорологических условий и технических характеристик БПЛА, влияющих на возможность выполнения полетного задания, а также оценена возможность применения различных способов для оптимизации процесса планирования полетов.

Влияние метеорологических условий на полеты беспилотных летательных аппаратов

Рассмотрим наиболее важные характеристики состояния атмосферы, от которых этого зависит вся организация работы беспилотных авиационных систем, алгоритмы работы БПЛА и автоматических сервисных станций (АСС).

Наиболее важным фактором, который необходимо учитывать, является ветер, так как его влиянию подвержены абсолютно все летательные аппараты,

находящиеся в воздушной среде [1]. В работе [2] был представлен инструмент для расчета ожидаемых параметров полета с учетом ветра и других метеорологических условий. При проектировании беспилотной авиационной системы, которая состоит из летательных аппаратов и АСС, необходимо провести анализ архивов погоды, чтобы оптимально разместить АСС с учетом преобладающего направления ветра.

Другим немаловажным фактором является температура, которая оказывает влияние на емкость аккумуляторных батарей, применяемых на многих БПЛА в качестве источника энергии [3]. Кроме того, температура воздуха влияет на максимальную тягу, которую может обеспечить силовая установка.

Совокупное влияние влажности и температуры также стоит учитывать при принятии решения на вылет, так как условиями возможного обледенения является состояние атмосферы, при котором температура наружного воздуха ниже 5°C , а также, когда разница между точкой росы и температурой воздуха менее 5°C , либо наблюдается влажность в какой-либо форме [4]. Обледенение крайне негативно сказывается на летно-технических характеристиках БПЛА, может привести к критическому уменьшению максимальной дальности полета, потере устойчивости и управляемости и другим неблагоприятным последствиям.

Наличие атмосферных осадков также влияет на возможность выполнения полетов БПЛА, так как снег может налипать на лопасти воздушных винтов и приводить к существенному снижению располагаемой тяги. Также, необходимо принимать во внимание степень защищенности летательного аппарата от воздействия воды при планировании полета в условиях дождя или снега.

Влияние технических факторов на полеты беспилотных летательных аппаратов

Другой важной группой факторов, которые влияют на возможность выполнения полетного задания в текущих условиях, являются летно-технические характеристики БПЛА, а также масса перевозимого груза и некоторые другие параметры.

Любые аккумуляторные батареи подвержены износу, который связан с протекающими на электродах аккумулятора необратимыми химическими процессами [5]. Кроме того, данные химические источники энергии подвержены влиянию температуры. Известно, что под воздействием отрицательных температур, емкость аккумуляторных батарей существенно снижается.

Принимая во внимание проблемы эксплуатации БПЛА, для которых основным источником энергии является аккумуляторная батарея, предлагается использовать летательные аппараты с гибридной силовой установкой, которая состоит из двигателя внутреннего сгорания, используемого как генератор и нескольких электродвигателей, приводящих во вращение воздушные винты.

Кроме того, с увеличением массы перевозимого груза увеличивается расход энергии. В случае с БПЛА будет возрастать потребная тяга, а следовательно, для ее обеспечения потребуется увеличить мощность

электродвигателей, что приведет к сокращению максимальной дальности и продолжительности полета.

Оптимизация планирования полетов беспилотных летательных аппаратов при помощи генетического алгоритма

Во многих случаях оптимизацию полетов БПЛА представляют как вариацию классической задачи коммивояжера [6]. Однако, данный подход обладает рядом недостатков: в действительности такие задачи относятся к классу NP-сложных, требуют большой вычислительной мощности и не позволяют учитывать большое количество факторов одновременно.

В случае использования БПЛА для транспортировки грузов, необходимо свести к минимуму время доставки и максимизировать вероятность успешного выполнения полетного задания, а для этого необходим комплексный учет всех факторов, рассмотренных выше.

Сложность оптимального планирования полетов БПЛА в сети автоматических сервисных станций заключается в том, что необходимо обеспечить не только скорость, но и надежность доставки груза, при этом обязательно должен соблюдаться баланс между надежностью и скоростью.

Существует алгоритм работы программного обеспечения для маршрутизации полета БПЛА с использованием процедуры последовательного запрета подциклов [7]. Данное ПО позволяет строить маршрут облета равноценных точек в поле постоянного ветра без учета дополнительных ограничений. Блок-схема алгоритма представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Блок-схема алгоритма маршрутизации полета БПЛА с использованием процедуры последовательного запрета подциклов

Несмотря на свои достоинства, данный алгоритм имеет существенный недостаток: учет дополнительных факторов и ограничений сложно реализуем.

Для решения задачи разработки оптимального расписания полетов и сети маршрутов, предлагается использовать генетический алгоритм, который основан на случайном подборе, комбинировании и изменении оптимизируемых переменных с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [8]. Обобщенная блок-схема генетического алгоритма представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Обобщенная блок-схема генетического алгоритма

Входными данными для работы генетического алгоритма будут являться координаты автоматических сервисных станций, аэронавигационный запас энергии на борту БПЛА при посадке, метеорологические условия, общий запас энергии на борту БПЛА в момент начала полета, а также летно-технические характеристики летательных аппаратов и масса перевозимого груза.

Целевая функция предполагает оценку продолжительности полета и запаса энергии на борту БПЛА в каждом промежуточном пункте маршрута. Оптимальное соотношение данных величин должно быть подобрано при разработке генетического алгоритма.

В ходе работы генетический алгоритм будет определять оптимальный маршрут с учетом ветра, а затем оценивать пригодность различных БПЛА для выполнения поставленной задачи. Кроме того, с его помощью можно учесть возможность транспортировки груза на разных участках пути разными БПЛА и выбрать оптимальный вариант путем перебора различных комбинаций.

Выводы

Существует проблема учета технических и климатических факторов при разработке маршрутов и планировании полетов БПЛА. Данная проблема может быть решена при помощи различных алгоритмов, позволяющих последовательно учесть указанные факторы.

Наиболее целесообразным для решения задачи построения маршрута и планирования полетов БПЛА является применение генетического алгоритма, так как он позволяет одновременно учитывать большое количество факторов и за сравнительно малое время находить оптимальное решение.

Библиографический список

1. Старчиков, С. А. Основы аэронавигации : Учебное пособие для СПО / С. А. Старчиков. – Саратов, Москва: Профобразование; Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 252 с.
2. Степанчиков, О. В. Система принятия решения на вылет беспилотного летательного аппарата с учетом различных технических и климатических факторов / О. В. Степанчиков, В. С. Фетисов // Авиакосмическое приборостроение. – 2025. – № 5. – С. 45-52. – DOI 10.25791/aviakosmos.5.2025.1483.
3. Разновидности двигателей тяжелых и средних БПЛА / А. Р. Заляева, А. М. Аюпова, Т. Р. Хайрутдинов, В. И. Курир // Нанотехнологии: наука и производство. – 2023. – № 2. – С. 58-64.
4. ICAO DOC 9640-AN/940 «Руководство по противообледенительной защите воздушных судов на земле». Издание второе. – 2000.
5. Ma, S. Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review / S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng, W. Shang // Progress in Natural Science, 2018. – Vol. 28. – № 6. – P. 653-666.
6. Немоляев, И. В. Обобщенная задача коммивояжера / И. В. Немоляев // Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками, 2021. – № 6. – С. 127-130.
7. Моисеев, Д. В. Вычислительные аспекты и прикладное программное обеспечение оптимальной маршрутизации полета легкого беспилотного летательного аппарата в поле постоянного ветра / Д. В. Моисеев, В. М. Чинь // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9, № 3. – С. 92.
8. Фетисов В. С., Ахмеров Ш. Р. Организация полетов группы мультикоптеров для дежурства над объектом с применением генетического алгоритма // Авиакосмическое приборостроение. 2017. No 1. С. 26–31.

© Степанчиков О.В., 2025

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ

Аннотация: в статье представлены системы, в которых применяются технологии искусственного интеллекта, описаны принципы их работы. Показана универсальность рассматриваемых технологий для контроля состояния объектов, что подтверждается множеством имеющихся в настоящее время интеллектуальных разработок в самых различных сферах.

Ключевые слова: технологии искусственного интеллекта, нейронная сеть, нейрокомпьютер, контроль состояния объекта.

В настоящее время широкое распространение в различных областях науки и техники получают технологии искусственного интеллекта, предусматривающие возможность сбора и обработки большого объема информации компьютером (или иным вычислительным устройством), а также формирования на основе полученной информации баз данных. На основе извлеченной из сформированного хранилища информации интеллектуальная система способна выдавать ответ (или совершать необходимое действие). В настоящей статье рассмотрен ряд систем, в которых технологии искусственного интеллекта используются для определения состояния объектов.

Так, известен подход в формировании интеллектуальной информационно-измерительной и управляющей системы территориально распределенных взаимосвязанных объектов газораспределения [1], структура которой изображена на рис. 1.

В представленной сети взаимосвязанных газораспределительных объектов были задействованы организационно-технические блоки и нейрокомпьютеры, которые обрабатывают информацию, связанную с техническим обслуживанием, квалификацией персонала, режимами газоснабжения и потреблением газа. При этом нейрокомпьютеры информационно-измерительной системы могут быть расположены на пунктах редуцирования газа для возможности наблюдения и управления процессом транспортировки продукта. Каждый нейрокомпьютер может работать в двух режимах – сбора и контроля. Первый режим связан с аккумуляцией информации, которая считывается в течение нескольких дней с акустического и вибрационного датчиков, а также с датчиков загазованности и давления. Все указанные данные поступают в память нейрокомпьютера, после чего вся накопленная информация поступает на сервер телеметрии, где из нее

формируется база данных и осуществляется обучение всей нейронной сети. Процесс обучения информационно-измерительной системы такого вида изображен на рис. 2.



Рис. 1. Структура информационно-измерительной системы взаимосвязанных объектов газораспределительной сети на основе искусственного интеллекта: АДС – аварийно-диспетчерская служба, БА – блок аналитики, ГРС – газораспределительная станция, ПРГ – пункты редуцирования газа, НК – нейрокомпьютеры, КУ – крановые узлы, СКЗ – станции катодной защиты, КИП – контрольно-измерительные пункты, ОРБ – организационно-технический блок, ЦМ – цифровая модель



Рис. 2. Процесс обучения нейронной сети информационно-измерительной системы

Нейронная сеть систем рассматриваемого типа обучается при помощи матричных преобразований методом обратного распространения ошибки исходя из информации, накопленной в базе данных (см. рис. 2). Для каждого отклика сети рассчитывается ошибка. Если она выходит за рамки допустимой, то нейронная сеть подвергается дополнительной настройке, в случае если ошибка незначительна, то сеть считается обученной.

Второй режим работы нейрокомпьютера служит для контроля пункта редуцирования газа. Информация с датчиков поступает на нейрокомпьютер и обрабатывается обученной нейронной сетью: в случае, если газовое

оборудование начинает работать с отклонениями, оповещение об этом поступает в диспетчерский пункт. Таким образом технология искусственного интеллекта в информационно-измерительной системе определяет состояние пунктов редуцирования газа.

Известен подобный рассмотренному виду подход формирования систем, в которых технологии искусственного интеллекта способны повысить скорость определения «предотказного» состояния телекоммуникационных устройств [2]. Такой вариант основан на прогнозе изменения основных параметров при воздействии на оборудование паразитных факторов с помощью интеллектуального анализа. Структурная схема управления техническим состоянием телекоммуникационного оборудования подобного вида представлена на рис. 3, в которой отдельно стоит отметить два функциональных блока – блок нечеткого модуля и блок многослойной нейронной сети.

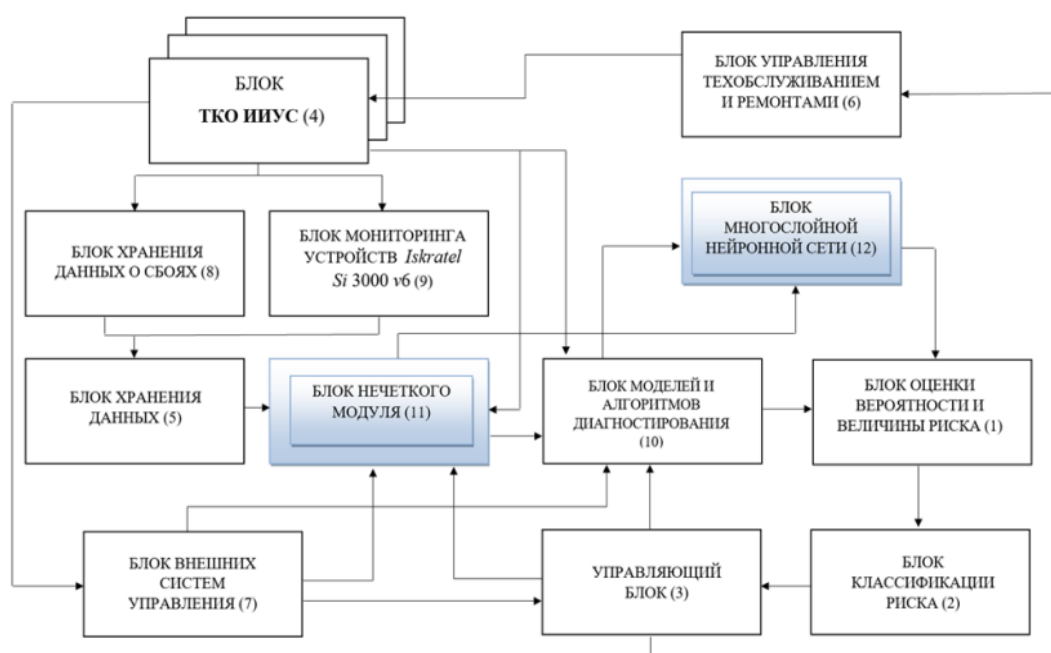


Рис. 3. Структурная схема подсистемы управления техническим состоянием телекоммуникационного оборудования: ТКО ИИУС – телекоммуникационное оборудование информационно-измерительных и управляющих систем

Данные блоки оценивают состояние устройства исходя из основных параметров (пропускная способность, сопротивление линии температура платы маршрутизатора, количество контактных абонентов) при эксплуатации с повышенной точностью. Благодаря указанным элементам производится оценка риска поломки устройства, на основе которой появляется возможность расчета затрат на ремонт.

Нейронная сеть в рассматриваемой подсистеме является обучающейся. Процесс обучения схож с первой описанной системой, но имеет ряд особенностей: после ее обучения проводится тестирование, направленное на проверку результатов измерений основных параметров и на прогноз их

изменения при воздействии паразитных факторов, возникающих в ходе эксплуатации. Информация с блока многослойной нейронной сети передается в блок оценки вероятности и величины риска, а затем в блок классификации. Блок нечеткого модуля необходим для сортировки информации из блока хранения данных, которая выполняется на основе полученных от блока внешних систем управления и управляющего блока данных. На основе отсортированных сведений блок моделей и алгоритмов диагностирования выдает нужный порядок действий для диагностики. Таким образом значительно снижается время поиска и устранение неисправностей в телекоммуникационном оборудовании.

В качестве примера задействования технологии искусственного интеллекта в информационные системы можно указать подсистему гиперспектрального контроля пищевых продуктов [3], структурная схема которой изображена на рис. 4.

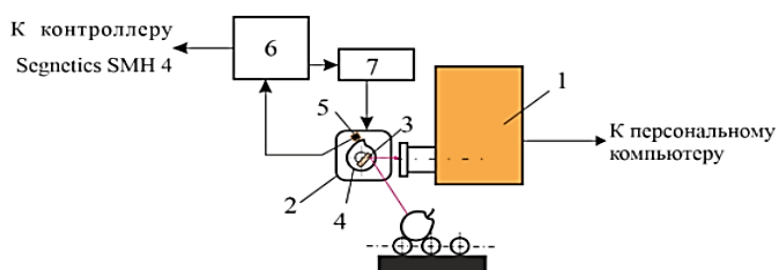


Рис. 4. Структурная схема подсистемы гиперспектрального контроля:

- 1 – гиперспектральная камера Specim FX-10, 2 – привод на основе шагового двигателя 23 НМ-0384S, 3 – зеркало с напыленным внешним слоем из хрома, 4 – эксцентрик, 5 – конечный выключатель, 6 – микроконтроллер, 7 – драйвер шагового двигателя A4988

Качество продукта оценивается благодаря спектрограммам, полученным от гиперспектральной камеры Specim FX-10, а также благодаря изображениям с камеры, установленной над конвейерной лентой. В соответствии с алгоритмом работы камера над конвейерной лентой создает изображение продукта (например, яблока). По этим изображениям при помощи программных и математических преобразований вычисляется диаметр фрукта. Затем исходя из спектрограмм определяется состояние его растительной ткани. Данная подсистема способна определить различные виды повреждения плода. При выявлении одного из них идет обнаружение испорченного яблока на конвейерной ленте. Оно попадает в сортировочную емкость для некачественной продукции. Если растительная ткань яблока в хорошем состоянии – то подсистема начинает сканировать следующий фрукт. Яблоки без дефектов попадают в отдельную емкость. Абсолютная погрешность при вычислении диаметра плода данной подсистемы не превышает 1,5 мм. Также данная система определяет не менее 90 % яблок со здоровой растительной тканью.

Помимо приведенных ранее информационно-измерительных систем известна также биометрическая система аутентификации, выполненная на

основе нейросетевых моделей [4], функциональная схема которой приведена на рис. 5.

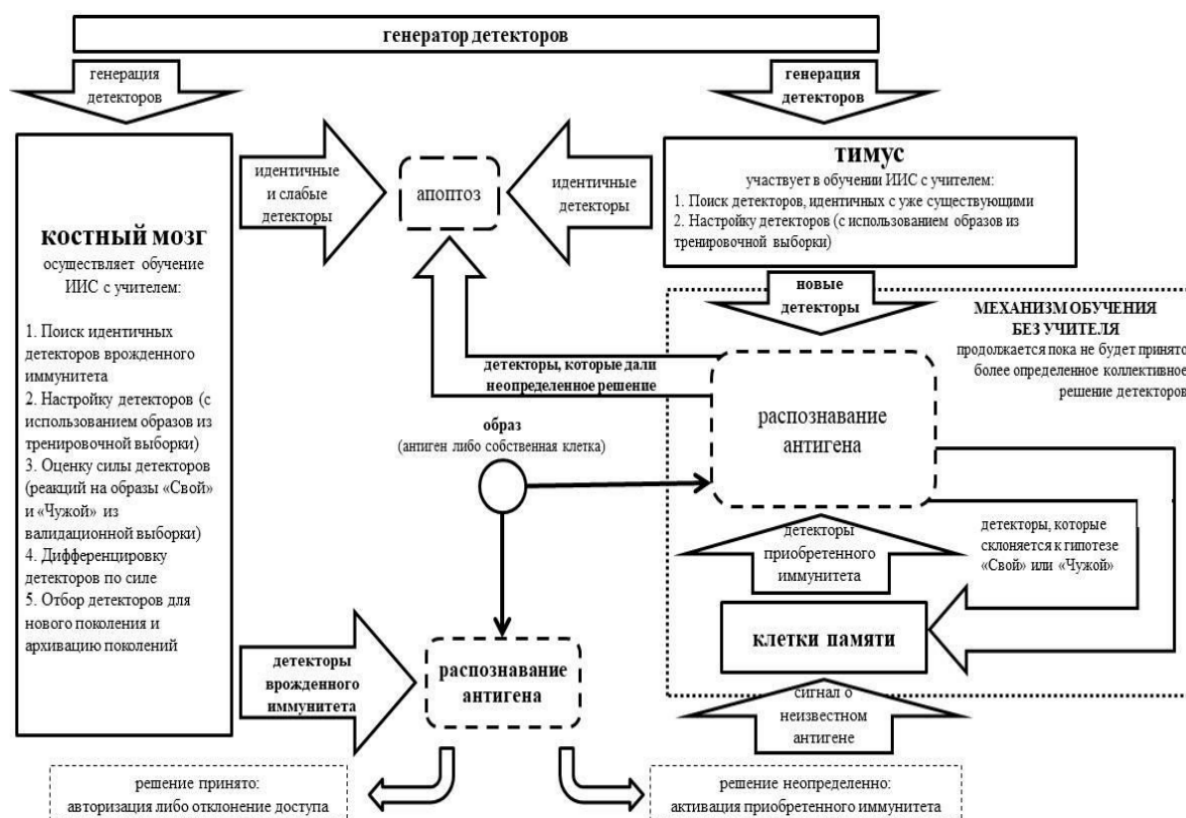


Рис. 5. Функциональная схема информационно-измерительной биометрической системы аутентификации на основе нейросетевых моделей

Отличительной особенностью данной информационно-измерительной биометрической системы (см. рис. 5) является класс нейронов, анализирующих не признаки объекта, а корреляционные связи между ними. Система обучается на выборках «Свой» и «Чужой». Детекторы разделены на два класса – с врожденным и приобретенным иммунитетом. Детекторы с врожденным иммунитетом образуются во время обучения системы на основе тренировочной выборки с учителем. Детекторы с приобретенным иммунитетом образуются во время самостоятельной работы информационно-измерительной биометрической системы аутентификации. На основании информации, полученной от детекторов из двух классов, вычисляется их коллективное решение. Таким образом система с высокой точностью способна определять личность человека, разрешать или отказывать в праве доступа.

Подводя итоги стоит сказать, что подход к разработке информационно-измерительных систем на основе технологий искусственного интеллекта применим во многих областях: нефтегазовой, телекоммуникационной [5, с. 339], пищевой, финансовой, исследовательской [6, с. 338], в области обеспечения безопасности [7, с. 240] и пр., что делает данную технологию универсальной. Количество имеющихся на сегодняшний день разработок подчеркивает данный факт.

Библиографический список

1. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 2.2.11 информационно-измерительные и управляющие системы) «Информационно-измерительная и управляющая система территориально распределительных взаимосвязанных объектов газораспределения», Алексеева Полина Геннадьевна, Тульский государственный университет, Тула, 2024.
2. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 2.2.11 информационно-измерительные и управляющие системы) «Диагностирование и управление техническим состоянием телекоммуникационного оборудования информационно-измерительной и управляющей системы с применением нейросетевых и нечетких моделей», Наумова Анастасия Юрьевна, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 2023.
3. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (специальность 2.2.11 информационно-измерительные и управляющие системы) «Алгоритмическое обеспечение информационно-измерительных систем для классификации и контроля качества яблок», Жиркова Александра Александровна, Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, 2023.
4. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук (специальность 2.3.6 методы и системы защиты информации, информационная безопасность) «Высоконадежная биометрическая система аутентификации на основе защищенного исполнения нейросетевых моделей и алгоритмов искусственного интеллекта», Сулавко Алексей Евгеньевич, Омский государственный технический университет, Омск, 2023.
5. Концепция программно-аналитического комплекса образовательного процесса на основе онтологии и искусственных нейронных сетей / В. В. Антонов, Г. Г. Куликов, Л. А. Кромина [и др.] // Онтология проектирования. 2021. Т. 11, № 3(41). С. 339-350.
6. Системная модель интеллектуальной предметно-ориентированной профайлинг-системы / В. В. Антонов, З. И. Харисова, З. Р. Мансурова [и др.] // Онтология проектирования. – 2020. Т. 10, № 3(37). С. 338-350.
7. Лонщакова, А. Р. Обеспечение достоверности и информационной безопасности проведения психофизиологических исследований в рамках уголовного судопроизводства в Российской Федерации и за рубежом / А. Р. Лонщакова, З. И. Харисова, В. В. Антонов // Евразийский юридический журнал. 2019. № 9(136). С. 240-242.

© Стуколкин А.С., 2025

УДК 621.833:621.317.7

А.Г. ФЕДОТОВ

vvfx94@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ПОРШНЯ ГИДРОЦИЛИНДРА: ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ И ПРИНЦИПОВ ДЕЙСТВИЯ

Аннотаци: в данной статье рассматриваются современные технологии измерения положения поршня гидроцилиндра, их преимущества и недостатки, а также перспективы развития.

Ключевые слова: гидроцилиндр, датчик положения, магнитострикция, точность, линейный дифференциальный трансформатор (LVDT), тросиковый энкодер, линейное перемещение.

Введение

Современные гидравлические системы, используемые в промышленности, строительстве, авиации и других отраслях, требуют точного контроля положения поршня гидроцилиндра. Это позволяет обеспечить безопасность, повысить эффективность работы оборудования и снизить энергозатраты. Целью статьи является обзор существующих технологий измерения положения поршня, а также анализ их применения в автоматизированных системах управления.

Обзор существующих технологий

На сегодняшний день существует множество способов измерения положения поршня гидроцилиндра, каждый из которых имеет в своей основе определенный физический принцип и адаптирован к разнообразным условиям эксплуатации: от простых механических до высокотехнологичных магнитострикционных и LVDT систем. Выбор зависит от требований к точности, устойчивости к внешним воздействиям (температуре, вибрации и загрязнениям) и экономической целесообразности.

Тросиковый энкодер

Начнём обзор конкретных вариантов с тросикового энкодера. Он представляет собой механическую систему измерения положения, основанную на преобразовании линейного перемещения во вращательное. Ключевой компонент системы — гибкий тросик, закрепленный на движущемся штоке цилиндра. При перемещении штока тросик сматывается или разматывается, вращая вал, связанный с поворотным энкодером, который преобразует угол

поворота вала в электрический сигнал, пропорциональный пройденному расстоянию (рис. 1).



Рис. 1. Тросиковый энкодер SGH10

Линейный дифференциальный трансформатор (LVDT)

LVDT – это бесконтактное устройство, работающее на принципе электромагнитной индукции. Конструктивно датчик состоит из подвижного ферромагнитного сердечника (рис. 2), механически связанного с объектом измерения, и неподвижной системы из обмоток. Как правило, одной первичной и двух вторичных. При подаче переменного напряжения на первичную обмотку, во вторичных обмотках наводится ЭДС, разность которых линейно зависит от положения сердечника.

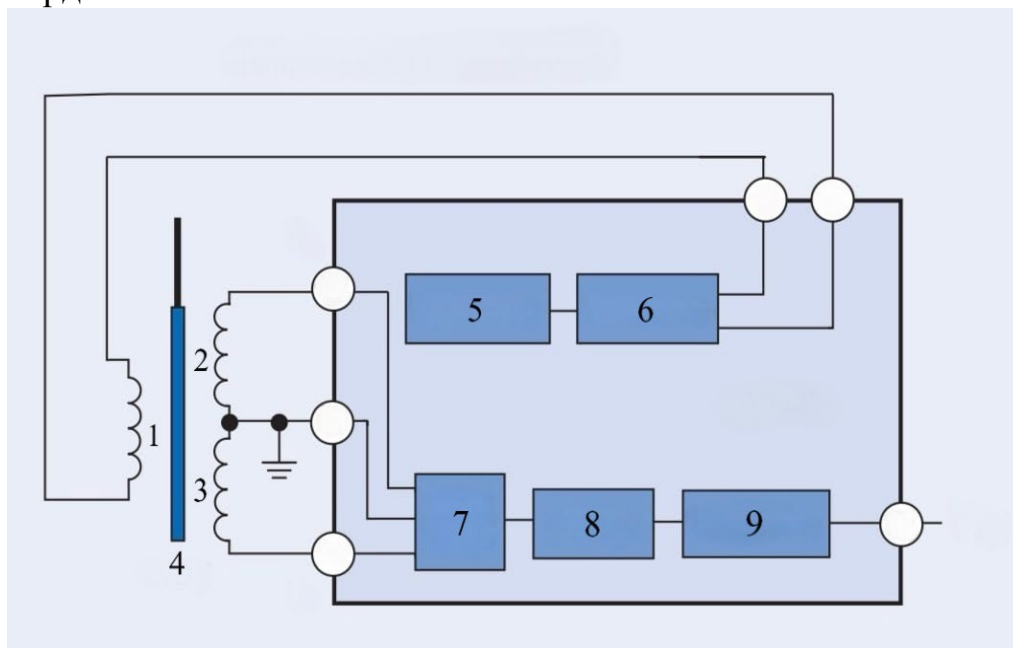


Рис. 2. Схема датчика LVDT:

1 – первичная обмотка, 2 и 3 – вторичные обмотки, 4 – сердечник, 5 – генератор синусоидальных сигналов, 6 – усилитель, 7 – блок сравнения, 8 – фильтр, 9 – усилитель

Магнитострикционный датчик положения

Магнитострикционный датчик – высокоточная бесконтактная система, основанная на использовании магнитострикционного эффекта. Датчик состоит из волновода, вдоль которого перемещается позиционный магнит, закрепленный на поршне. При прохождении импульса тока, по проводнику расположенному внутри волновода, возникает магнитное поле, взаимодействующее с полем постоянного магнита. Это порождает деформацию, которая приводит к возникновению ультразвуковой волны. Положение магнита вычисляется с высокой точностью путем измерения времени между подачей токового импульса и приходом звуковой волны к приёмному элементу, в котором наводится ЭДС. На рисунке 3 изображен магнитострикционный датчик.

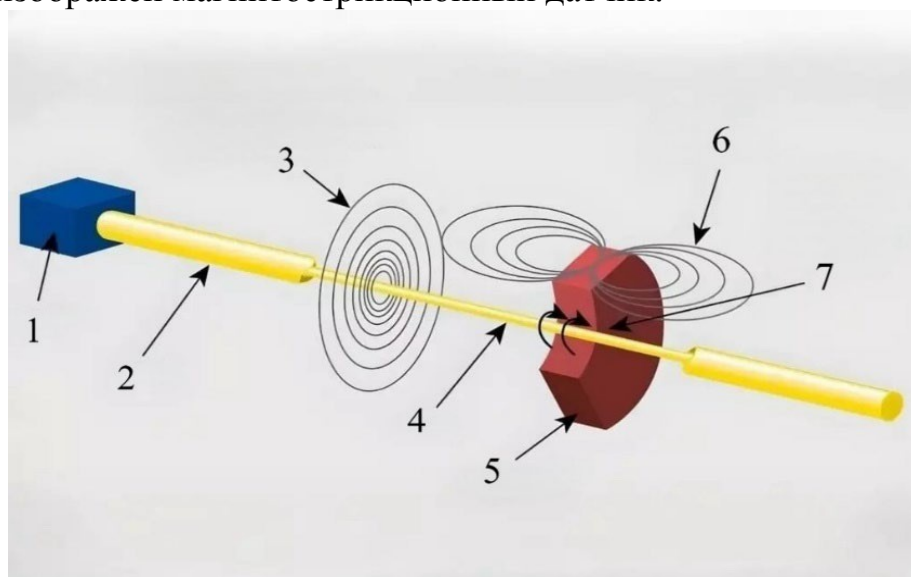


Рис. 3. Магнитострикционный датчик:

1 – сенсорный элемент, 2 – защитный элемент волновода, 3 – магнитное поле образующиеся вокруг волновода. 4 – волновод, 5 – позиционный магнит, 6 – магнитное поле, постоянного магнита, 7 – деформация (скручивание волновода)

Выбор конкретной технологии зависит от требований применения. Для задач, не критичных к точности, но с большим ходом, подойдет тросиковый энкодер. LVDT обеспечивает высокую точность при умеренной стоимости, но для ограниченных ходов. Магнитострикционные датчики являются оптимальным решением для высокоточных и ответственных систем, где важна надёжность и долговечность.

Анализ магнитострикционного датчика перемещения

Структурная схема системы измерения перемещений изображена на рис. 4 и состоит из двух основных узлов: измерительного элемента (ИЭ) и электронного преобразователя (ЭП). ЭП конструктивно выполнен в виде печатной платы с электронными элементами, заключенной в герметизированный корпус. ЭП имеет разъёмный соединитель для подключения датчика к системе управления гидроцилиндра.

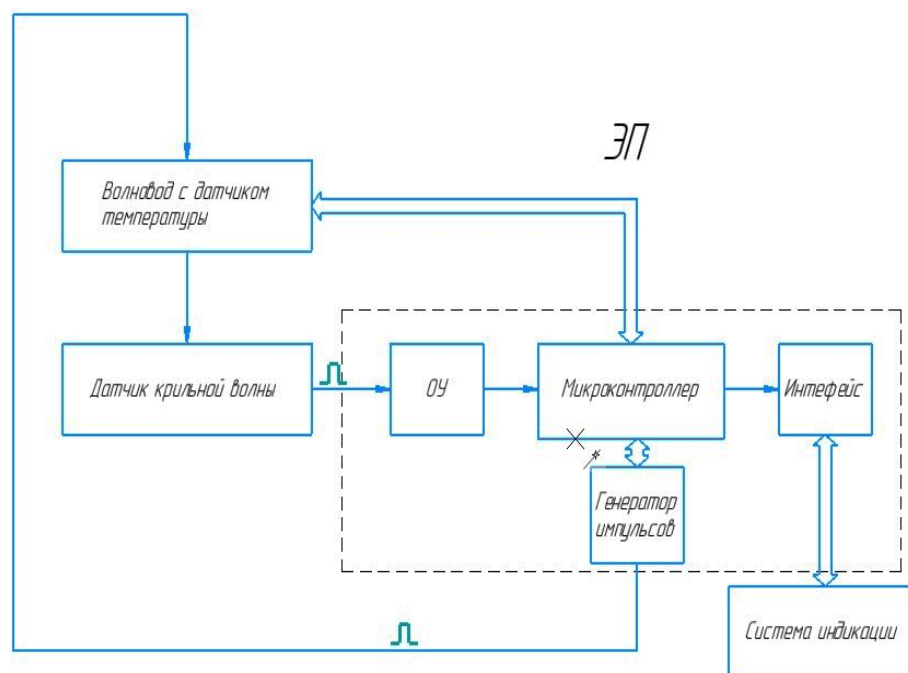


Рис. 4. Структурная схема системы измерения

Микроконтроллер (МК) управляет генератором импульсов, выход которого подключен к проводнику, расположенному в волноводе. Вокруг волновода возникает магнитное поле из-за прохождения импульса тока по проводнику, который расположен в волноводе. При его взаимодействии с полем магнитного позиционера происходит их суперпозиция полей и возникает мгновенная деформация в месте их взаимодействия:

$$\lambda = \frac{\Delta L}{L} = \gamma \cdot H ,$$

где λ – магнитострикционная деформация;

γ – коэффициент магнитострикции;

H – напряженность магнитного поля.

Из-за деформации волновода возникает крутильная волна, которая распространяется по волноводу в обе стороны, от точки возникновения. С одной стороны она гасится демпфером, а с другой попадает на преобразователь крутильной волны в продольную с катушкой считывания. Она распространяется по волноводу с определённой скоростью, которую можно рассчитать по формуле:

$$V = \frac{G}{\rho} ,$$

где G – модуль сдвига, ρ – удельная плотность материала волновода.

На противоположном конце волновода расположен преобразователь крутильной волны в продольную. Он состоит из катушки считывания, постоянного магнита и сердечника из ферромагнетика. Положение магнита определяется по времени задержки между: моментом подачи импульса в задающую катушку (t_0) и моментом прихода сигнала в приемную катушку (t_1). Операционный усилитель (ОУ) необходим для усиления выходного сигнала с

катушки считывания, для остановки работы таймера, который расположен в МК.

Расстояние до магнита:

$$L = v \cdot \Delta t = v \cdot (t_1 - t_0),$$

где v – скорость крутильной волны в волноводе, Δt – время прошедшее между подачей и приёмом импульса МК.

В данной системе учтена температурная зависимость скорости распространения волны в волноводе, поэтому перед расчетом положения поршня, МК получает информацию о температуре волновода, чтобы внести температурную поправку.

Заключение

На основе приведённых данных можно сделать вывод о том, что каждая из технологий имеет свою область применения. Тросиковый энкодеры будут экономичным решением для задач, где поршень гидроцилиндра имеет большой ход, LVDT целесообразно применять в задачах необходима высокая точность, но ход поршня не превышает 1-2 метра. Универсальным решением можно считать магнитострикционный датчик, т.к он сочетает высокую точность и не имеет ограничений по длине хода, как LVDT.

Дальнейшее развитие связано с цифровизацией измерений, интеграцией датчиков в промышленные сети, реализация функции самодиагностики. Исследования могут быть направлены на создание адаптивных систем, способных сами компенсировать изменения рабочих параметров и прогнозировать техническое состояния оборудования.

Библиографический список

1. Агейкин Д.И. Датчики контроля и регулирования / Д.И. Агейкин, Е.Н. Костина, Н.Н. Кузнецова. – Москва: Машиностроение, 1965. – 928 с.
2. Надеев А.И. Разработка и исследование магнитострикционных преобразователей линейных перемещений: дис. канд. тех. наук: спец. 05.13.05 / А.И. Надеев. – Уфа: УАИ, 1978. – 235 с.
3. Ясовеев В.Х., Исхаков Р.Р. Принципы построения магнитострикционных датчиков линейных перемещений. Датчики и системы. 2001. N3. С. – с. 53-60.
4. Ясовеев В.Х., Шмелев А.А. Интеллектуальный магнитострикционный датчик линейных перемещений. Датчики и системы. 2014. N12(187) – с. 12-15.
5. Савельев В.С. Курс общей физики. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика: учебник / В.С. Савельев. – Москва: Наука, 1978. – 480 с.
6. Голямина И.П. Ультразвук: Маленькая энциклопедия / под общ. ред. И.П. Голямина. – Москва: Советская энциклопедия, 1979. – 400 с.

© Федотов А.Г., 2025

УДК 53.084.6

В.В. ХАЙРУЛЛИН

hairullin.vildan-p-112@mail.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Аннотация: гиперспектральные изображения (HSI) представляют собой трёхмерные данные, содержащие спектральную информацию для каждого пикселя. В статье рассматриваются основные методы и классификации обработки гиперспектральных изображений, включая классические спектральные, спектрально-пространственные, методы глубокого обучения и новейшие графовые подходы. Приведена их классификация, анализ преимуществ и ограничений, а также намечены перспективные направления исследований.

Ключевые слова: обработка изображения, ИК датчики, гиперспектральная визуализация, методы спектроскопии, глубокое обучение, гиперспектральные датчики.

На момент написания статьи применяемость технологии гиперспектрального анализа увеличивается с каждым днем. Гиперспектральная визуализация уже активно внедрена в такие сферы как: медицина (определение состава крови, выявление опухолей), сельское хозяйство (выявление заболеваний и вредителей) промышленность (переработка отходов, горнодобывающая промышленность). Целью работы является сравнительный анализ методов обработки гиперспектральных изображений, обзор существующих методов, сравнение реализованных технологий и их применимости в области сортировки полимеров.

1. Ключевые задачи гиперспектральной съемки

Гиперспектральная съёмка используется для анализа свойств материалов и объектов по их спектральному отражению. Задача классификации гиперспектральных изображений (HSI) заключается в присвоении каждому пикселю метки класса [1]. Высокая размерность данных, малая выборка с метками и наличие смешанных пикселей создают сложности при обучении и интерпретации моделей. Ниже будет представлен обзор и систематизация методов классификации HSI и определение их преимуществ и недостатков. Следует отметить, что в зависимости от сферы применения HSI некоторые методы будут лучше в одной сферы и совершенно не применимы в других сферах.

2. Методы и классификация

2.1 Метод графов

Графовые методы моделируют отношения между соседними пикселями в виде графа и применяются структуры такие как, Graph Convolutional Networks (GCN) – обучение класса или выход метки узла [2], опираясь только на собственные признаки узла и признаки его соседей в свёрточной манере, при применении в гиперспектральной съемке пиксель можно рассматривать как узел, а его спектральное значение как набор признаков. Для объединения CNN (евклидовых данных) и GCN (неевклидовые данные между разными типами поверхностей) была создана новая архитектура Graph Attention Networks (GAT) модель применяет внимание как спектральной, так и пространственной областях, чтобы добиться более цельного сочетания методов механизмов внимания attention и графовых методов [3].

2.2 *U-net метод* функционирует как специализированный автоэнкодер, который кодирует и декодирует пространственную информацию входного изображения, формируя новое выходное изображение. Это полезно в задачах, где имеется маска выходных классов, как в пиксельной классификации или сегментации. U-Net изначально разработан для обычных изображений, существует множество способов адаптировать его к гиперспектральным данным.

В *HyperUNet* [4] смежные спектральные каналы сохраняются путем разбиения гиперспектрального куба на две части с выбором чередующихся каналов. Каждая часть обрабатывается идентичными архитектурами U-Net, а их итоговые выходы конкатенируются для получения сегментированного изображения.

В работе [4] демонстрируются значительные улучшения по сравнению с традиционной U-Net. Также предлагается иной подход к спектральной сегментации — использование глубинной свёртки (Depthwise Convolution) вместо обычной, чтобы уменьшить количество параметров и вычислительную сложность. Однако спектральное разбиение на две различные части, объединяемые затем конкатенацией, может приводить к перемешиванию спектральной и пространственной информации, что может ухудшать точность.

U-withinU-Net (UwU-Net) назначает отдельные U-Net-модули для различных задач:

- один U-Net специально для извлечения пространственных признаков,
- множество U-Net-модулей для извлечения спектральных признаков [5].

Такая архитектура распределяет обучаемые параметры отдельно между спектральной и пространственной информацией, формируя целостный подход, который эффективно решает проблему их взаимного перемешивания.

2.3 *Понятие механизм внимания (Attention)* [6] стало революционным достижением в области обработки естественного языка, позволив устанавливать корреляции и выполнять обучение в архитектуре «энкодер–декодер» на гораздо более длинных входных и выходных последовательностях. И внимание энкодер–декодер, и механизм самовнимания (Self-Attention) оказались эффективными для выявления корреляций между скрытыми состояниями входной

последовательности; концепция самовнимания также была исследована в применении к назначению весов информативным спектральным каналам и для подавления несущественных спектральных компонент. Основными формами внимания, которые имеют особое значение для гиперспектральных изображений (HSI), являются *канальное внимание (выборка каналов) (Channel Attention)* и *пространственное внимание (Spatial/Position Attention)*. Канальное внимание означает присвоение различных весов множеству каналов изображения перед выполнением свёртки. Это особенно актуально в HSI-кубах, где для уменьшения размерности часто применяется метод главных компонент (PCA) [7]. С помощью канального внимания модель подавляет менее информативные спектральные полосы и усиливает более значимые. Благодаря обратному распространению ошибки обеспечивается соответствие весов каналов задаче классификации.

2.4 В модели *Spectral Spatial Feature Tokenization Transformer (SSFTT)* гиперспектральный куб преобразуется в последовательность токенов с помощью спектрально-пространственного извлекателя признаков. Этот извлекатель использует 3D-свертку, за которой следует 2D-свертка, аналогично модели S-CNN [8], чтобы получить спектрально-пространственные токен-признаки. После конкатенации обучаемого токена, соответствующего метке класса, трансформер обучается восстанавливать последовательность признаков таким образом, чтобы токен класса располагался в начале. Трансформер использует многоголовое и стандартное механизм самовнимания, позволяющий модели учитывать все спектральные каналы и большую длину входной последовательности. На этапе инференса линейный softmax-классификатор, применённый к финальному вектору, используется для получения итоговой метки. Методы, основанные на внимании, применяют пространство токенов для представления как спектральных, так и пространственных признаков гиперспектрального изображения. Это помогает модели избежать чрезмерного перемешивания спектральных и пространственных признаков и позволяет настраивать обучение на отдельные токен-пространства, вместо одного набора непрерывных активаций.

2.5 *RIAN* [9] объединяет Attention-модуль с ротационно-инвариантной свёрточной сетью. Attention-модуль:

- генерирует веса для спектральных каналов, перенастраивая их,
- подавляет влияние мешающих пикселей вокруг центрального пикселя.

Ротационно-инвариантный модуль пространственных признаков адаптивно агрегирует пиксели в инвариантные спектрально-пространственные признаки. В модуле *Rotation Spectral Aggregation (RSpaA)*:

- сначала выполняется спектральная свёртка;
- затем агрегируются только те пиксели, чьи спектральные признаки имеют высокое сходство, определяемое по порогу.

Attention-модули предотвращают потерю спектральной информации, характерную для методов с PCA и LDA. Ротационно-инвариантные механизмы

улучшают анализ соседних пикселей, что особенно важно для задач классификации земных поверхностей.

Интуитивно RSpaA напоминает операции GCN: корректное совмещение RSpaA с реальным GCN может улучшить результаты и уменьшить влияние шумовых пикселей.

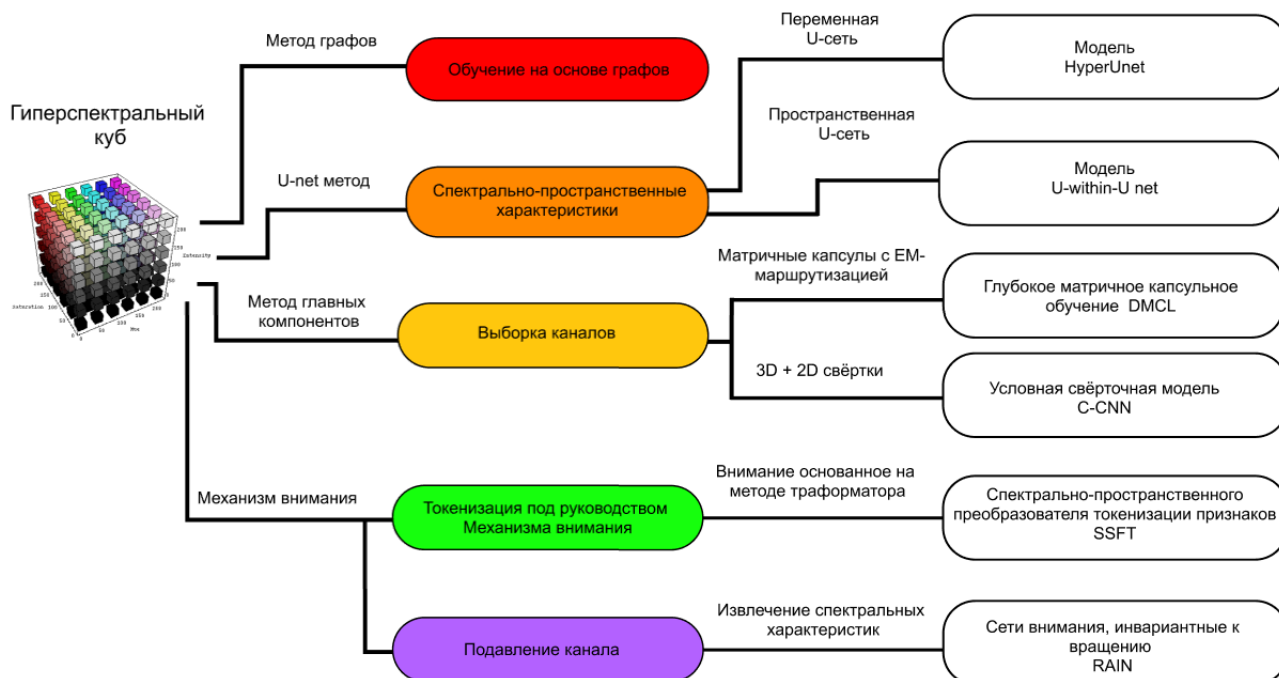


Рис. 1. Обзор методов обработки гиперспектрального куба

3. Области применения

Каждый метод является наиболее эффективным в определенной области применения в некоторых приоритетом является скорость в других подробный спектральная характеристика, в-третьих, малая мощность обрабатывающего оборудования.

В области дистанционного зондирования и сельского хозяйства, например одно из популярных камер на рынке является HySpex Mjolnir S-620 [10] применяется геотехнические исследования, оценку геоопасности, структурный анализ, стратиграфическое картографирование и обучения применяет метод обработки такой-то такие как GCN, RIAN, Transformers. Для медицинского оборудования, например для Diaspective Vision TIVITA [11] камера отображает различные параметры перфузии тканей человека, в таких устройствах обычно применяют методы обработки типа Attention-based, DMCL, U-Net. [12]. В сортировки ТКО одним из ведущих производителей оптических сортировщиков является UniSort в особенности сепаратор UniSort PR EVO 5.0 [13] в таких устройствах обычно применяют методы обработки как CNN+Attention, Rotation-Invariant, SSFT. В таблице 1 приведены области применения методов обработки и причины их эффективности в конкретно указанной области.

Сравнение методов обработки по областям применения

Область применения	Метод обработки	Причина
Медицина (HSI в хирургии, онкологии, дерматологии)	Attention-based, SSFTT, U-Net, DMCL	Требуется высокая спектральная точность, отсутствие потери спектра, акцент на биологических различиях
Дистанционное зондирование Земли (Earth Observation)	GCN, RIAN, SSFT	Важны пространственные структуры, инвариантность к углам, глобальный контекст
Анализ состояния почвы и сельхоз земель	CNN+GCN, SSFT	Критично выделять узкие спектральные особенности + крупные структуры полей
Сортировка ТКО / вторсырья	CNN+Attention, RAIN, SSFT	Требуются быстрые методы с устойчивостью к шуму, вращению объектов, меняющемуся освещению

Таким образом, в данной статье были рассмотрены методы обработки гиперспектральных изображений, выявлены области применения методов, непосредственно влияющие на эффективность их применения. Рассмотрены способы обработки реально действующих и доступных на рынке устройств. Определены наиболее эффективные методы в отдельных областях применения.

Библиографический список

1. Aryan Vats and Manan Suri. A Survey of Graph and Attention Based Hyperspectral Image Classification Methods for Remote Sensing Data.2023. arXiv:2310.09994v1
2. Thomas N. Kipf and Max Welling. 2016. Semi-Supervised Classification with Graph Convolutional Networks. arXiv:1609.02907
3. Petar Veličković, Guillem Cucurull, Arantxa Casanova, Adriana Romero, Pietro Liò, and Yoshua Bengio. 2017. Graph Attention Networks. arxiv.1710.10903
4. Arati Paul and Sanghamita Bhounik. 2021. Classification of hyperspectral imagery using spectrally partitioned HyperUnet. Neural Computing and Applications 34, 3 (9 2021), 2073–2082.

5. Bryce Manifold, Shuaiqian Men, Ruoqian Hu, and Dan Fu. 2021. A versatile deep learning architecture for classification and label-free prediction of hyperspectral images. *Nature Machine Intelligence* 3, 4 (3 2021), 306–315.
6. Ashish Vaswani. 2017. Attention Is All You Need. *arxiv:1706.03762*
7. Yanni Dong, Quanwei Liu, Bo Du, and Liangpei Zhang. 2022. Weighted Feature Fusion of Convolutional Neural Network and Graph Attention Network for Hyperspectral Image Classification. *IEEE transactions on image processing* 31 (1 2022), 1559–1572.
8. Le Sun, Guang-Rui Zhao, Yuhui Zheng, and Zebin Wu. 2022. Spectral–Spatial Feature Tokenization Transformer for Hyperspectral Image Classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 60 (1 2022) tgrs.2022.3144158
9. Xiangtao Zheng, Hao Sun, Xiaoqiang Lu, and Wei Xie. 2022. Rotation-Invariant Attention Network for Hyperspectral Image Classification. *IEEE Transactions on Image Processing* 31 (2022), 4251–4265.
10. <https://www.hyspex.com/hyspex-products/hyspex-mjolnir/mjolnir-s-620>
11. <https://www.medicalexpo.ru/prod/diaspective-vision-gmbh/product-120031-1034625.html>
12. <https://steinertglobal.com/sorting-systems/sensor-sorting/nir-sorting-systems/unisort-pr/> .
13. https://www.researchgate.net/publication/382597487_Spectral_characterization_of_intraoperative_renal_perfusion_using_hyperspectral_imaging_and_artificial_intelligence?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6Il9kaXJlY3QifX0.

© Хайруллин В.В., 2025

СЕКЦИЯ 3.2. БИОМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 616.71

Д.Р. АМИНЕВ

damir.aminev.001.@internet.ru

Науч. руковод. – ассистент кафедры БМИ К.Р. Уразбахтина

Уфимский университет науки и технологий

ОРГАНИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ СЛУЖБЫ

Аннотация: обеспечение своевременной и достоверной информации о состоянии пациента является важнейшей составляющей в вопросе постановки диагноза и своевременного лечения. Цель научной работы – анализ результатов внедрения концепции и перспектив масштабирования системы, позволяющей повысить качества диагностики и лечения пациентов в Республике Башкортостан.

Ключевые слова: Единая централизованная лабораторная служба; диагностика заболеваний; система здравоохранения.

В сфере российского здравоохранения есть проект, который по праву называют революционным – Единая централизованная лабораторная служба Республики Башкортостан. Первый для России проект не только коренным образом изменяет подход к диагностике в регионе, но и стал работающим эталоном качества, эффективности и доступности медицинской помощи.

Централизованная лаборатория – это многоуровневая система, в которой все лабораторные исследования из медицинских учреждений разного профиля и масштаба стекаются в несколько высокотехнологичных лабораторных центров. Вместо сотен маленьких, часто слабо оснащенных лабораторий при каждой больнице создается мощная логистическая и аналитическая инфраструктура. Данная инициатива позволяет ускорить процесс диагностики и повысить точность и способность исследований, что в свою очередь улучшает результативность и снимает количество неблагоприятных исходов

Основная цель заключается в создании принципиально новой, эффективной среды для точной диагностики, доступной каждому жителю Республики, независимо от его места жительства. В данной практике были реализованы такие вещи как: разработка методологии, техническое перевооружение, подготовка кадров, внедрение IT-решений.

Таким образом, была создана детальная схема маршрутизации биоматериалов, регламенты работы и система контроля качества; инициирована масштабная закупка высокопроизводительного автоматизированного оборудования ведущих мировых брендов для центральных лабораторий, организовано непрерывное обучение персонала для работы в новой

стандартизированной системе, была запущена единая лабораторная информационная система (ЛИС), которая стала «нервной системой» всего проекта, связав воедино все этапы от взятия анализа до выдачи результата врачу.

Примеры реализации каждой концепции:

Уровень 1: Районные больницы (например, Центральная районная больница с. Аскарково). Проводятся простые срочные анализы (экспресс-тесты, общий анализ крови на гематологическом анализаторе). Основной объем исследований (биохимия, гормоны, онкомаркеры) транспортируется в более крупные центры. Врач Аскардовской ЦРБ назначает анализ, кровь берут на месте, а результат приходит из Уфы.

Уровень 2: Межрайонные лабораторные центры (например, в г. Стерлитамак или г. Салават). Эти центры обслуживают несколько соседних районов. Здесь выполняется широкий спектр исследований (более 1000 показателей), разгружая головной центр в Уфе.

Уровень 3: Головной лабораторный центр (Республиканская клиническая больница имени Г. Г. Куватова, г. Уфа). Это центральная часть системы, куда стекаются сложные и редкие анализы со всей республики: иммуногистохимия, молекулярно-генетические исследования, высокоточная биохимия, проточная цитометрия.

Медицинская польза при реализации данного проекта:

1. Единый стандарт качества, который исключает человеческий фактор и разброс погрешностей различного наименования медицинского оборудования, внедрена система внутреннего и внешнего контроля качества (ФСВОК);

2. Доступность высокотехнологичных тестов для жителей, отдаленных сел при отсутствии необходимости выезжать за пределы района;

3. Единая база данных позволяет аккумулировать результаты всех анализов пациента и хранить в ЛИС.

В логистическом вопросе наблюдается сформированность единой системы из автотранспорта, оснащенного необходимым холодильным оборудованием, способствующей увеличению скорости реализации услуг по анализу биопроб.

Экономическая целесообразность проекта обусловлена отсутствием большого количества идентичного оборудования с ограниченным спектром анализов, консолидированными закупками и экономией времени специалистов.

Республика Башкортостан является первым и единственным регионом в России, где централизация лабораторной службы была реализована в таком масштабе.

Таким образом достигнуты следующие результаты [1]:

- Объем выполненных исследований вырос на 17 миллионов исследований (данные взяты на момент 2018-2019 гг. и сразу после полного запуска проекта).
- Количество иммуногистохимических исследований выросло в 5 раз (с ~4 000 до >20 000 в год).
- Объем ПЦР-диагностики увеличился более чем в 10 раз.

- Количество выполняемых биохимических и гормональных анализов возросло на 40%.

- Время на обработку данных по стандартному биохимическому анализу сократился с 5–7 до 1-2 дней, на специфические анализы – с 10–14 до 3–5 дней. Система объединила более 650 медицинских организаций, включая самые отдаленные ФАПы.

Опыт Башкортостана наглядно демонстрирует, что будущее медицины за централизацией, стандартизацией и цифровизацией. Создание Единой лабораторной службы является экономически эффективным средством, позволяющим поднять на качественно новый уровень диагностику и лечение для миллионов жителей республики.

Результаты внедрения единой лабораторной службы в Республике Башкортостан позволяют сделать выводы о необходимости масштабирования данной практики для повышения уровня диагностики и лечения пациентов на территории Российской Федерации.

Библиографический список

1. «Министерство здравоохранения Республики Башкортостан: офиц. сайт» – URL: <https://health.bashkortostan.ru/> (дата обращения: 15.11.2025).

© Аминев Д.Р., 2025

Г.Т. АЮПОВ

gamzatayupov@mail.ru

Науч. руковод. – старший преподаватель Г.Т. ГАРИПОВА

Уфимский университет науки и технологий

РОЛЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ НАРУЖНЫХ ДЕФИБРИЛЛЯТОРОВ В СНИЖЕНИИ СМЕРТНОСТИ ОТ ВНЕЗАПНОЙ СЕРДЕЧНОЙ СМЕРТИ

Аннотация: в данной статье рассматриваются методы для снижения смертности населения от внезапной остановки сердца, а также важность внедрения в медицину автоматических наружных дефибрилляторов.

Ключевые слова: дефибриллятор, внезапная сердечная смертность, сердечно-легочная реанимация

Внезапная сердечная смерть – это фибрилляция желудочков, причиной которой является отсутствие симптомов в анамнезе, свидетельствующих о коронарной патологии. Основными проявлениями являются отсутствие дыхания, артериального давления, пульса на магистральных сосудах, отсутствие реакции на свет, мраморность кожи. Внезапная коронарная (сердечная) смерть составляет 40 % всех причин гибели взрослого населения старше 50, но младше 75 лет, не страдающих диагностированными сердечными заболеваниями. Если говорить про молодое поколение (18-25 лет), а бывают и случае меньше совершеннолетнего возраста, то у них популярно употребление энергетических напитков, и, зачастую, в больших количествах, что может приводить к учащению частоты сердечных сокращений, паническим атакам, а также расстройству вегетативной нервной системы, которые также могут повлиять на дальнейшую работу сердечно-сосудистой системы.

Симптомами внезапной сердечной смерти является то, что за 40-60 минут до развития остановки сердца возможно появление предшествующих признаков, к которым относится обморок, который может длиться от 30 до 60 секунд, ярко выраженное головокружение, нарушение координации, снижение или подъем артериального давления. Также, главным симптомом является характерные боли за грудиной, сжимающего характера, будто сердце сжимают в кулаке. Зачастую, симптомы не всегда проявляются. Возможна внезапная смерть во сне без предшествующего пробуждения.

Во время внезапной сердечной смерти возможен ряд осложнений, таких как: метаболическая буря, которая наблюдается после успешных реанимационных мероприятий; изменения рН, которые обуславливаются длительной гипоксией и приводящие к нарушению деятельности рецепторов и гормональных систем. Также, могут поражаться почки микротромбами, которые

образуются при появлении ДВС-синдрома, миоглобином, выброс которого происходит при дегенеративных процессах в поперечнополосатой мускулатуре.

Что делать в случае обнаружения человека с приступами внезапной сердечной смерти? Первым делом, как можно скорее вызвать бригаду скорой помощи. Помощь пострадавшему нужно оказывать на месте, транспортировка осуществляется уже после восстановления сердечного ритма.

Для оживления применяются следующие методы. Необходимо уложить пострадавшего на жесткую ровную поверхность, очистить дыхательные пути, запрокинуть голову и выдвинуть нижнюю челюсть. Зажать пострадавшему нос, положить на рот тканевую салфетку, обхватить его губы своими губами и сделать глубокий выдох. Компрессию следует осуществлять весом всего тела. Грудина должна продавливаться на 4-5 сантиметров. Соотношение компрессий и вдохов – 30:2 независимо от числа реаниматоров. Если сердечный ритм и самостоятельное дыхание восстановились, нужно уложить больного на бок и дожидаться бригады скорой помощи. Самостоятельная транспортировка строго запрещена.

В условиях лечебного учреждения помощь оказывается развернуто. При выявлении на ЭКГ мерцания желудочков производят дефибрилляции разрядами по 200 и 360 Дж. Возможно введение антиаритмиков на фоне базовых реанимационных мероприятий. При асистолии вводят адреналин, атропин, натрия бикарбонат, хлористый кальций. Пациента в обязательном порядке интубируют и переводят на искусственную вентиляцию легких, если это не было сделано ранее.

После восстановления синусового ритма, ИВЛ продолжает до восстановления сознания или дольше, если этого требует ситуация. По результатам анализа КЩС производят коррекцию электролитного баланса, рН. Требуется круглосуточное мониторирование жизнедеятельности больного, оценка степени поражения его центральной нервной системы. Также, назначается восстановительное лечение: антиоксиданты, сосудистые препараты, дофамин при низком АД, сода при метаболическом ацидозе, а также ноотропные вещества.

Но, что делать, если бригада скорой помощи долго не приезжает, а непрямой массаж сердца не помогает восстановить сердечный ритм пострадавшего? В этом случае, сильно помог бы автоматический наружный дефибриллятор, установленный, к примеру, на ближайшей остановке. Помогающий открывает шкаф дефибриллятора, забирает оттуда заряженный и готовый к работе дефибриллятор, и в последующем пытается нанести разряд от 200 до 360 Дж на теле пострадавшего.

Почему в России и странах СНГ важно ввести систему автоматических наружных дефибрилляторов? Автоматические наружные дефибрилляторы могут сыграть большую роль в экстренных ситуациях, когда это может быть единственным спасением. Его стоит установить на автобусных остановках города, в местах, где скапливаются люди. Во время экстренной ситуации, граждане могут использовать его по назначению, но перед этим, в школах,

ВУЗах, а также в местах работы граждан проводится ряд обучений и правильной работы с этим видом дефибриллятора. Также, автоматический внешний дефибриллятор может послужить отличным дополнительным оборудованием для бригады скорой помощи, в том случае если у них, например, не окажется с собой портативного дефибриллятора, автоматический внешний дефибриллятор приходит на помощь. Исходя из этого, было бы разумным решением ввести их в эксплуатацию на территории городов России и стран СНГ.

Современный автоматический наружный дефибриллятор (АНД) представляет собой портативное электронное устройство, которое автоматически диагностирует потенциально опасные для жизни нарушения ритма сердца: ФЖ и желудочковую тахикардию – и может купировать жизнеугрожающую аритмию при помощи подачи электрического разряда. Во время дефибрилляции происходит одномоментная деполяризация кардиомиоцитов, при этом отсутствуют подавление собственного водителя ритма сердца и препятствия физиологическому возбуждению миокарда. Ранняя дефибрилляция, по мнению многих экспертов, является важным фактором для успешного восстановления сердечной деятельности при остановке кровообращения, вызванной ФЖ, причем в большинстве случаев достаточно лишь одного разряда. Таким образом, концепция ранней дефибрилляции и использование автоматических наружных дефибрилляторов является актуальной и действенной в спасении жизни больного. Использование АНД человеком, оказавшимся рядом с пострадавшим, которому требуется помощь до прибытия на место врачей, определяет смысл этой концепции. При этом спасатель может не владеть методом проведения дефибрилляции и сердечно-легочной реанимации профессионально.

Современные АНД являются помощниками спасателя, так как в своем алгоритме содержат функции подсказок и записи, позволяющую в последующем провести анализ всех предпринятых действий, а алгоритм анализа ритма позволяет дифференцировать жизнеугрожающие нарушения ритма с высокой степенью достоверности и своевременности нанести разряд.

Основные параметры АНД. Многие АНД содержат в своем алгоритме автоматический и полуавтоматический режимы, принципиальным отличием которых является то, что автоматический режим не требует вмешательства оператора для выдачи разряда; полуавтоматический режим дефибриллятора, в свою очередь, предусматривает оповещение о необходимости проведения дефибрилляции. Компактность и небольшой вес позволяют переносить и удобно располагать дефибриллятор рядом с пациентом. Сопротивление тканей, массу тела, а также другие важные аспекты учитывает АНД: наиболее подходящий выбор мощности происходит автоматически. Важным алгоритмом в АНД является запрет выдачи разряда при наличии нормального ритма у пациента, что очень важно, ведь это препятствует нанесению неадекватного разряда и применению прибора не по назначению, что гарантирует то, что люди будут добросовестно относиться к этому прибору и не калечить других людей.

Опираясь на вышеуказанную статистику смертности от внезапной сердечной смерти можно сказать, что в современном мире нужно улучшать условия для жизни людей, добавлением в эксплуатацию автоматических наружных дефибрилляторов (АНД). Большой интерес вызывает применение АНД у спортсменов, поскольку есть случаи, когда визуально здоровый человек, прошедший медицинскую комиссию и получивший разрешение на профессиональную спортивную деятельность, внезапно умирает на глазах у тысячи зрителей. Привлечение полицейских к оказанию неотложной помощи и проведению ранней дефибрилляции до приезда бригады скорой помощи также способствует увеличению выживаемости и снижению количества различных осложнений. В связи с этим, целесообразным является введение обучения навыкам проведения дефибрилляции при помощи АНД воспитателей и учителей соответствующих учреждений. Это будет способствовать уменьшению смертности от внезапной сердечной смерти, а также различных невралгических заболеваний.

Библиографический список

1. Бокерия Л.А., Ревешвили А.Ш., Неминущий Н.М. Внезапная сердечная смерть. М.:Гэотар-медиа, 2011. 272 с.
2. Бокерия Л.А., Ревешвили А.Ш., Неминущий Н.М. Имплантируемые кардиовертеры-дефибрилляторы: профилактика внезапной сердечной смерти. *Кардиология*. 2009; 2: 84 – 90.
3. Востриков В.А., Горбунов Б.Б., Гусев А.Н. и др. Динамика изменения сопротивления грудной клетки в процессе воздействия биполярного импульса дефибрилляции Гурвича–Венина. *Медицинская техника*. 2009; 6: 33 – 379.
4. Гаврилова Е.А., Земцовский Э.В. Внезапная сердечная смерть и гипертрофия миокарда у спортсменов. *Вести аритмологии*. 2010; 62: 59 – 62.
5. Дегтярева Е.А., Поляева Б.А. Актуальные проблемы детской спортивной кардиологии. М.: РАСМИРБИ, 2009. 132 с.
6. Кузнецов В.А., Фанаков А.В., Шабалков Э.А. и др. Применение автоматических наружных дефибрилляторов при жизнеугрожающих тахиаритмиях в кардиологическом блоке интенсивной терапии. *Вести аритмологии*. 2009; 55: 10 – 3.
7. Мрочек А.Г., Горбачев В.В. Экстремальная кардиология: профилактика внезапной сердечной смерти: руководство для врачей. М.: Медицинская книга, 2010. 432 с.
8. Меликулов А.Х., Шварц В.А., Сергеев А.В. Сердечная ресинхронизирующая терапия при синдроме Марфана (клинический случай). *Бюл. медич. Интернет- конференций*. ID: 2013-06-4020-A-2783.
9. Телышев Д.В. Методика определения оптимальных параметров при анализе ритмов сердца в автоматических электрических дефибрилляторах. *Актуальные достижения европейской науки*. 2010. С. 31 – 3.

10. Шляхто Е.В., Арутюнов Г.П., Беленков Ю.Н. Национальные рекомендации по определению риска и профилактики внезапной сердечной смерти. *Архивъ внутренней медицины*. – 2013.

© Аюпов Г.Т., 2025

А.А. БАБИКОВА

babikova.anyuta07@mail.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАРКЕРОВ 0-ТИПА ДЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация: в статье приведены данные о роли биомаркеров в медицине. Рассмотрена классификация биомаркеров, описан процесс их валидации и сложности при кластеризации в клинической практике. Кроме того, освещены проблемы исследования и внедрения новых биомаркеров.

Ключевые слова: биомаркер, здоровье.

Существующие системы определения качества здоровья пациентов базируются, в частности, на биомаркерах. Они разделяются на диагностические, восприимчивости/риска, прогностические и предиктивные. Основываются главным образом на характере течения болезни, а также методе его лечения. Если мы рассматриваем биомаркер здоровья основанный на 0 типе, то нас интересуют главным образом условия протекания болезни по клинической подоплеке. Ее описательная часть характерная для пациентов более здорового кластера, имеющего незначительные отклонения, носящие не хронический характер. Если же пациенты, состоящие на наблюдении с клиническими патологиями, имеют более выраженные недуги и проходят лечение уже на медикаментозно-таблеточной терапии, ее биомаркер уже переходит под классификацию первого типа.

Поскольку рассматриваемый биомаркер можно исследовать с точки зрения валидации, то для установления более точного диагноза, должно быть проведено взятие проб в сертифицированных лабораториях, действующих согласно Резолюции по улучшению работы клинических лабораторий (CLIA), а образцы, взятые у пациентов, должны быть только из клинического исследования, тогда как в остальных случаях это не принципиально.

Кроме рассмотрения валидации метода, сам биомаркер необходимо квалифицировать, то есть он должен быть схожим по корреляции с клиническими эффектами. Признанный валидный биомаркер – это маркер, который можно определить аналитическим методом с установленными воспроизводимыми характеристиками и о котором существует общепризнанное мнение в научном и медицинском сообществе касательно физиологической, токсической и клинической значимости. Это нам позволит рассмотреть биомаркер с разных точек зрения, что в свою очередь повысит скорость выявления патологий, а также позволит определить оптимальный метод лечения

пациентов. При рассмотрении общей дельты мы можем построить график зависимости истинноположительных и ложноположительных результатов рис.1.



Рис. 1. График определения дельты методов лечения пациентов.

Данный график очень четко показывает, насколько важно правильно определять биомаркеры, по которым выстраивается лечение болезни, поскольку при неправильно выявленных биомаркерах есть риск не только не остановить «очаг» возникновения заболевания, но в некоторых случаях усугубить ранее невыявленную патологию.

Именно поэтому 0 маркер является 1 шагом по определению и выявлению индикаторов, связанных с проявлением или высоким риском развития, к примеру, с новообразованиями.

Заключение. К сожалению, огромное количество потенциальных биомаркеров остаются не до конца изученными или же могут не сразу проявляться в организме человека. Из 150 тыс. известных опубликованных данных биомаркеров-кандидатов меньше ста находят реальное применение в клинической практике. Главной проблемой, связанной с исследованием биомаркеров, остается необходимость в высоком финансировании, так необходим большой объем ресурсов, межлабораторных взаимодействий и дополнительных экспериментов. Также проблемой может стать отсутствие воспроизводимости из-за неправильно спланированного исследования, неверной обработки данных или персонализированного характера действия биомаркера. Парадоксально, но даже при масштабных и дорогостоящих исследованиях причиной их провала могут быть обычные нарушения правил работ в лаборатории: нарушения сроков и условий хранения образцов, пулирование образцов и т. п. Помешать исследованию может и динамический характер самого исследования образцов. Примечательно, что для более значимых биомаркеров, на которых базируется огромное количество заболеваний, начиная от раковых опухолей, заканчивая вирусными заболеваниями. Они требуют выделения

наибольших временных и человеческих ресурсов, коих может быть недостаточно, для рассмотрения полного цикла течения болезни, начиная от момента заболевания, заканчивая процессами течения, выздоровления, усугубления и даже смерти.

Проработка данных направлений поможет в дальнейшем сделать течение болезни более прогнозируемым, а также минимизировать риски заболеваемости населения.

Библиографический список

1. Дон Е.С., Тарасов А.В., Эпштейн О.И., Тарасов С.А. Биомаркеры в медицине: поиск, выбор, изучение и валидация. Клиническая лабораторная диагностика. 2017; 62(1): 52-59
2. Конради А.О. Биомаркеры, их типы и основы применения в персонализированной медицине. Российский журнал персонализированной медицины. 2022;2(3): 6-16.
3. Павлушкина Л.В., Черневская Е.А., Дмитриева И.Б., Белобородова Н.В. Биомаркеры в клинической практике. Поликлиника. 2013; (4-1): 10–4.
4. Садвакас А.С. Современные концепции идеальных биомаркеров в медицине. В кн: Материалы XXXI международной научнопрактической конференции «Современная медицина: актуальные вопросы». Новосибирск: СибАК; 2014: 99–104.
5. Ягудина Р.И., Чибиляев В.А. Использование конечных и суррогатных точек в фармакоэкономических исследованиях. Фармакоэкономика. Современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. 2010; 3(2): 12–8.
6. Беневоленский Д.С. Биомаркёры в диагностике неотложных состояний. В кн.: Научно-образовательный форум «Актуальные проблемы современной лабораторной диагностики». Казань; 2011: 18–20.

© Бабикова А.А., 2025

УДК 616-71

Д.Ш. БАГАУТДИНОВА

bagautdinova.diana2014@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

СОЗДАНИЕ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОТОТИПА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ В СРЕДЕ ДИНАМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ SIMINTECH

Аннотация: разработан прототип имитационной модели для оценки параметров физического здоровья, который служит основой для дальнейшего развития более сложных алгоритмов.

Ключевые слова: имитационное моделирование, прототип модели для оценки параметров физического здоровья, SimInTech, среда динамического моделирования

В контексте цифровой трансформации система здравоохранения сталкивается с потребностью модификации инструментов для оценки физического состояния человека. Целью таких инструментов является определение текущего состояния здоровья, а также динамический мониторинг, прогнозирование потенциальных рисков и разработка персональных рекомендаций по поддержанию или улучшению физического состояния.

При большом разнообразии существующих инструментов наблюдается дефицит систем, которые способны обеспечить комплексный анализ и динамическое прогнозирование состояния здоровья. В свою очередь, большинство современных решений ориентировано на статическую обработку данных, представляя собой количественные показатели, полученные на основе введенных данных в определенный момент времени. Такие подходы полезны для получения первичной информации, но зачастую упускают сложную динамику биологических процессов, которые присущие каждому человеку. Неспособность уловить эти динамические аспекты ограничивает возможности своевременного выявления ранних стадий отклонений, определения причин их возникновения и прогнозирования дальнейшего развития. Для преодоления этих ограничений следует применять механизмы, которые способны моделировать сложные биологические системы и их поведение во времени. Имитационное моделирование представляет собой отличный инструмент для решения этой задачи. Данный метод позволяет строить модели, которые воспроизводят поведение реальных систем, учитывая динамику и реакцию на внешние воздействия.

В настоящее время оценка физического здоровья становится актуальной задачей, находящей отражение в широком спектре пользовательских

приложений, в особенности для мобильных устройств. Популярность таких приложений обуславливает потребность в надежных и точных инструментах, лежащих в их основе. Для корректного программирования и обеспечения адекватного функционирования подобных устройств, а также для верификации их алгоритмов, критически важно создание предварительной имитационной модели. Именно такая модель была разработана в среде SimInTech, использование которой является новой в сфере оценки параметров физического здоровья. Эта среда обеспечивает возможность комплексного анализа и динамического расчета ключевых показателей здоровья.

Для построения модели, которая отражает ключевые аспекты физического здоровья человека, были рассмотрены такие показатели, как индекс массы тела (ИМТ) и максимальное потребление кислорода VO_2 (по тесту Купера).

Индекс массы тела характеризует соотношение массы тела и роста [1]. Расчет ИМТ осуществлялся в соответствии с формулой 1:

$$ИМТ = \frac{m}{p^2}, \quad (1)$$

где m – масса тела, кг; p – рост, м.

Для интерпретации полученных данных ИМТ использовался специальный кодификатор, который представлен в таблице 1.

Таблица 1

Интерпретация результатов ИМТ

Индикация состояния на схеме	Расшифровка
1	Пониженная масса тела
2	Нормальный вес
3	Повышенная масса тела

Код 1 обозначает показатели, которые достигают значения 18,5; код 2 находится в диапазоне от 18,5 до 25; код 3 соответствует данным выше 25.

VO_2 является максимальным уровнем потребления кислорода, который характеризует достижение плато на кривой зависимости, когда дальнейшее увеличение мощности физической нагрузки не приводит к каким-либо изменениям [2].

Для проверки уровня максимального потребления кислорода (МПК) был выбран тест Купера. Он представляет собой беговой тест на 12 минут. Данный тест опирается на принцип поддержания постоянной скорости передвижения на протяжении 12 минут, что делает его надежным и воспроизводимым показателем кардиореспираторной выносливости [3].

Расчет МПК осуществлялся в соответствии с формулой 2:

$$\text{МПК} = \frac{D12 - 504,9}{44,73}, \quad (2)$$

где D – расстояние, которое пробежал человек, м.

Для интерпретации полученных данных МПК использовался специальный кодификатор, который представлен в таблице 2.

Таблица 2

Интерпретация результатов МПК по тесту Купера

Индикация состояния на схеме	Расшифровка
1 (значения меньше 30)	Низкий уровень подготовленности
2 (в диапазоне от 30 до 40)	Средний уровень
3 (в диапазоне от 40 до 50)	Хороший уровень
4 (значения выше 50)	Высокий уровень (спортсмены)

В рамках данной работы был разработан начальный прототип имитационной модели, которая демонстрирует принципы динамического расчета и отображает параметры модели физического здоровья человека. Модель построена по такому принципу, где каждый блок выполняет заданную функцию в рамках вычислительного процесса, а их взаимодействие обеспечивает получение итоговых показателей.

Прототип, представленный на рисунке 1, обладает ограниченным набором данных, которые включают:

- 1) рост, м;
- 2) вес, кг;
- 3) дистанцию, которую пробежал человек, м;
- 4) коэффициенты регрессии (504,9 и 44,73).

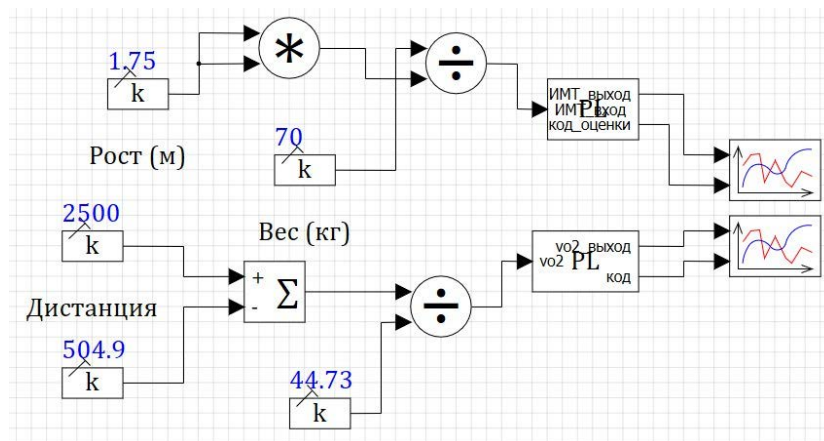


Рис. 1. Начальный прототип имитационной модели

Принцип работы имитационной модели следующий. Первоначально, в блок расчета индекса массы тела, поступают два параметра, рост и вес. Параметр роста возводится в квадрат благодаря блоку «перемножитель». Затем, этот показатель и вес обрабатываются согласно формуле 1. Обработанные параметры поступают в блок «язык программирования», где данные обрабатываются, код обработки представлен на рисунке 2, для последующей передачи на блок «вывод данных». Конечные значения ИМТ отображаются в блоке «вывод данных», пример реализации представлен на рисунке 3.

```

Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
[Icons]
1  input ИМТ_вход;
-
-  var ИМТ_выход, код_оценки;
-
-  // Передаем вход на выход
-  ИМТ_выход = ИМТ_вход;
-
-  // Добавляем оценку
-  if ИМТ_вход < 18.5 then код_оценки = 1
10 else if ИМТ_вход < 25 then код_оценки = 2
-  else код_оценки = 3;
-
-  output ИМТ_выход, код_оценки;

```

Рис. 2. Программа для обработки параметров ИМТ

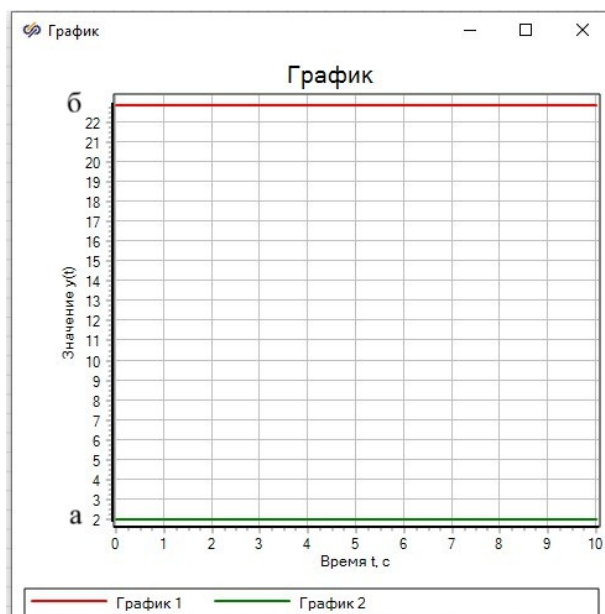


Рис. 3. Пример реализации расчета ИМТ,
а – интерпретация результатов по таблице 1;
б – значение показателя ИМТ

Блок расчета максимального потребления кислорода аналогичный. Первоначально на блок «сумматор» поступают дистанция, которую пробежал человек, и коэффициент регрессии 504,9. Затем, этот показатель обрабатывается согласно формуле 2, где итоговое значение с блока «сумматор» делится на коэффициент регрессии 44,73. Обработанные параметры поступают в блок «язык программирования», где данные обрабатываются, код обработки представлен на рисунке 4, для последующей передачи на блок «вывод данных». Конечные значения МПК отображаются в блоке «вывод данных», пример реализации представлен на рисунке 5.

```

Файл  Правка  Поиск  Расчёт  Справка  Инструменты
[Icons]
1  input V02;
-
-  var V02_выход, код;
-
-  // Просто передаем число на выход
-  V02_выход = V02;
-
-  // Простая оценка
-  if V02 < 30 then код = 1
10 else if V02 < 40 then код = 2
-  else if V02 < 50 then код = 3
-  else код = 4;
-
-  output V02_выход, код;

```

Рис. 4. Программа для обработки параметров МПК

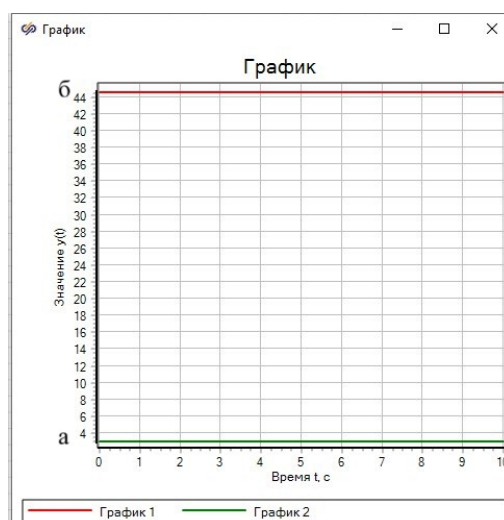


Рис. 5. Пример реализации МПК
а – интерпретация результатов по таблице 2;
б – значение показателя МПК

Прототип имитационной модели, несмотря на свою простоту, позволяет проанализировать показатели физического здоровья человека. Во-первых, он может быть использован для иллюстрации влияния изменения отдельных параметров, например, изменение веса при росте, который является константой. Визуализация может демонстрировать изменения в кодовой оценке, что может помочь в определении состояния здоровья. Во-вторых, модель может служить инструментом для демонстрации нормативных диапазонов. Путем ввода различных параметров можно удостовериться в том, как модель присваивает соответствующее значение из кодификатора.

Разработанный прототип имитационной модели демонстрирует потенциал использования вычислительных механизмов для анализа физического здоровья. Целью данной работы было показать, как упрощенная модель может иллюстрировать динамику показателей и их связь с нормативными значениями. Популярность приложений, направленных на оценку физического здоровья, подчеркивает актуальность создания таких инструментов. Несмотря на текущие ограничения, связанные с простотой структуры и фиксированными входными данными, модель перспективна для дальнейших исследований. Развитие в направлении учета динамических изменений, интеграции большего числа параметров и применения более сложных алгоритмов позволит создавать более точные и информативные системы, которые будут полезны как для обычных пользователей, так и для медицинских специалистов.

Библиографический список

1. Овчинников В. П., Фокин А. М., Кунарев В. С., Бледнова В. Н. Физическая культура: здоровый образ жизни студента (Физическая культура: здоровый образ жизни студента : учебное пособие для спо / В. П. Овчинников,

А. М. Фокин, В. С. Кунарев, В. Н. Бледнова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025.

2. Березина, А. В. Кардиопульмональное тестирование в кардиологии / А. В. Березина, А. В. Козленок // Трансляционная медицина. – 2014. – № 2. – С. 13-17. – EDN SOBNRV.

3. СТЕПЕНЬ ФИЗИЧЕСКОГО ЗДОРОВЬЯ СТУДЕНТОВ ПОСРЕДСТВОМ ТРЕНИРОВОЧНЫХ ЗАНЯТИЙ / С. Ю. Татарова, В. Б. Татаров, А. Н. Сафонов, А. И. Колпакова // Культура физическая и здоровье. – 2022. – № 1. – С. 126-129. – ISSN 1999-3455.

© Багаутдинова Д.Ш., 2025

УДК 615.47

Д.И. БАХТИН

denisbaxtin2@mail.ru

Науч. руковод. – канд. тех. наук, доц. Ю.О. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА МЕДИЦИНСКОЕ ИЗДЕЛИЕ – ПОЧЕЧНЫЙ ВАЛИК

Аннотация: статья посвящена разработке конструкторской документации модульного почечного валика для серийного операционного стола. Привод на основе трапецеидальной резьбы обеспечивает плавное позиционирование. Проведен сравнительный анализ с зарубежными аналогами. Обоснована медицинская эффективность изделия для снижения интраоперационных рисков и улучшения визуализации в латеральной позиции.

Ключевые слова: почечный валик; хирургическое позиционирование; импортозамещение; интраоперационные риски; операционный стол; трапецеидальная резьба.

В настоящее время выполнение студентами выпускных квалификационных работ по реальному техническому заданию от промышленного предприятия становится важной составляющей подготовки инженерных кадров. В рамках такого подхода представлена разработка конструкторской документации модульного почечного валика, интегрированного в серийную секцию операционного стола. В условиях реализации политики импортозамещения в российском здравоохранении особую актуальность приобретает разработка конкурентоспособных медицинских изделий, способных заменить иностранные аналоги без потери функциональности и надежности. Одной из таких задач является создание специализированного оборудования для операционных. Ключевым элементом при проведении урологических и общехирургических операций на структурах верхнего этажа брюшной полости и забрюшинного пространства является почечный валик. Существующие решения иностранных производителей, такие как операционные столы FY-503A или LOJER OA1030, несмотря на высокое качество, обладают рядом недостатков, включая высокую стоимость, зависимость от электропривода или необходимость использования съёмных модулей, что может приводить к люфтам и снижению надёжности [1, 2].

Разработанный почечный валик представляет собой несъёмный модуль, интегрированный непосредственно в конструкцию спинной секции серийно производимого операционного стола. Основу подъёмного механизма составляет шпилька с трапецеидальной разнонаправленной резьбой, на которой расположены две гайки. Вращение шпильки посредством рычажного привода

(на чертеже не показан) вызывает встречное движение гаек, которые через систему тяг осуществляют подъём или опускание опорной платформы валика. Использование трапецеидальной резьбы обеспечивает плавность хода, самоторможение и высокую нагрузочную способность механизма.

Для оценки эффективности и конкурентоспособности разработки был применён метод сравнительного анализа с двумя зарубежными аналогами: электромеханическим столом FY-503A и столом LOJER OA1030 с механическим съёмным валиком. Критериями сравнения выступили: тип привода, способ интеграции в стол, надёжность, стоимость владения и эргономичность для персонала.

Медицинская эффективность обоснована для двух основных хирургических позиций:

- Латеральная позиция: валик размещается под поясничной областью, что приводит к разгибанию позвоночника, увеличению межрёберного пространства и смещению органов брюшной полости для оптимального доступа к почке.

- Позиция супинации с приподнятым поясничным отделом: валик приподнимает поясницу, смещая органы краниально, что улучшает визуализацию при лапароскопических доступах через переднюю брюшную стенку.

Для наглядности конструкция интегрированного почечного валика в разрезе представлена на рис. 1.

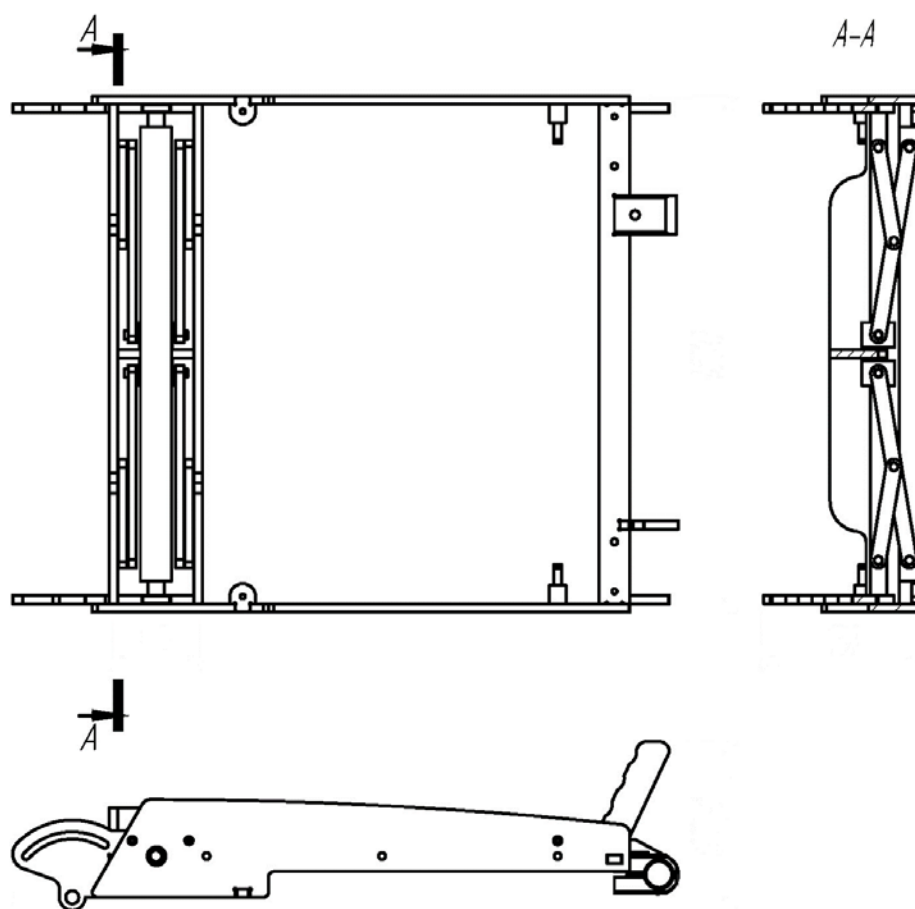


Рис. 1. Конструкция спинной секции с почечным валиком.

Конструкция валика (см. рис. 1) обеспечивает точную и плавную регулировку высоты в диапазоне, достаточном для адаптации под различные антропометрические данные пациентов и требования конкретной операции. Интеграция модуля в серийную секцию стола позволила исключить характерные для съёмных систем люфты, повысить общую надёжность и снизить стоимость производства за счёт использования отработанной платформы. Сравнительный анализ подтверждает ключевые преимущества данного решения (табл. 1).

Таблица 1

Сравнительный анализ характеристик почечных валиков

Параметр	FY-503A	LOJER OA1030	Разработанный валик
Тип привода	Электрический	Механический, съёмный	Механический, интегрированный

Продолжение табл. 1

Надёжность	Зависит от электроники, риск отказа	Возможны люфты в креплении	Высокая, за счёт интеграции и механики
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая (отсутствие электропривода, серийная секция)
Эргономика	Высокая (плавная регулировка)	Средняя (требуется установки и усилия)	Высокая (плавная регулировка, постоянная готовность)

Важным аспектом разработки является её экономическая обоснованность в рамках программы развития отечественной медтехники. Использование серийно производимой секции стола в качестве базовой платформы позволяет значительно сократить затраты на оснастку и переналадить производственные линии с минимальными издержками. Применение надёжных и отработанных в машиностроении компонентов (таких как трапецеидальная резьба) обеспечивает не только высокую надёжность, но и снижает зависимость от импортных комплектующих, что критически важно в текущих геополитических условиях.

Ориентировочная себестоимость производства одного валика оценивается в 3-4 раза ниже, чем у рассмотренных электромеханических аналогов, предлагаемых на мировом рынке, что открывает возможности для массового оснащения как крупных федеральных центров, так и региональных больниц.

Предложенное решение занимает нишу между дорогими электромеханическими системами и простыми, но менее надёжными съёмными механическими валиками. Его ключевым преимуществом является оптимальное соотношение «цена-качество-надёжность», что делает его оптимальным решением для программы переоснащения медицинских учреждений как Республики Башкортостан, так и Российской Федерации.

С медицинской точки зрения, точное и стабильное позиционирование, обеспечиваемое валиком, напрямую способствует снижению интраоперационных рисков. В латеральной позиции минимизируется риск непреднамеренного смещения пациента, что предотвращает необходимость коррекции положения во время операции и снижает вероятность позиционного повреждения нервов. Улучшенная визуализация за счёт оптимального разведения рёбер и смещения органов позволяет хирургу работать более точно и быстро, что сокращает общее время операции и снижает интраоперационную кровопотерю.

Перспективы развития проекта связаны с его потенциалом для унификации и стандартизации хирургического оборудования. Разработанный модульный валик, будучи адаптированным к типовым секциям отечественных операционных столов, может стать базовым элементом системы позиционирования. Это позволит создать единое технологическое решение для оснащения медицинских учреждений, сократив номенклатуру закупаемого оборудования и упростив логистику запасных частей. Дальнейшие работы логично сосредоточить на создании комплекта конструкторской документации для серийного производства и проведении процедуры регистрации изделия в качестве медицинского в Росздравнадзоре, что откроет путь к его широкому внедрению в клиническую практику.

Результатом работы является комплект конструкторской документации модульного почечного валика, включающий чертежи общего вида и спецификации, что является основой для освоения серийного выпуска. Конструкция с механическим приводом демонстрирует принципиальное преимущество перед импортными аналогами: полную независимость от электропитания и отказоустойчивость, а также обеспечивает конкурентоспособность изделия за счёт достаточно низкой стоимости владения. Внедрение разработки не только решит конкретную производственную задачу в рамках импортозамещения, но и позволит повысить стандарты безопасности в хирургии за счёт точного позиционирования пациента. Дальнейшие действия включают изготовление опытного образца, проведение лабораторных и клинических испытаний.

Библиографический список

1. Operating table kidney elevator OA1030. URL: <https://www.medicalexpo.com/prod/lojer/product-79160-1146105.html> (дата обращения: 05.11.2025).;
2. Универсальный операционный стол FY-503A. URL: <https://www.medicalexpo.ru/prod/jiangsu-fuyou-medical/product-304790-1115920.html> (дата обращения: 05.11.2025).;
3. Франк М.А., Шамуратов Р.Ш., Санжаров А.Е., Мирошниченко В.И., Мурзин М.О., Урьев М.М., Капустин К.И., Усс А.Г., Гаитова М.Р., Тонков И.В., Насибуллина Г.Ш. ОПЫТ ВЫПОЛНЕНИЯ РЕЗЕКЦИЙ ПОЧКИ РАЗЛИЧНЫМИ ДОСТУПАМИ И АНАЛИЗ ЕГО РЕЗУЛЬТАТОВ // Уральский медицинский журнал. - 2018. - №№ 9(164). - С. 129-132.

© Бахтин Д.И., 2025

Д.О. ВАРАКУТА
varakuta24@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Е.С. МОРОЗОВА

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО МОНИТОРИНГА ГЛЮКОЗЫ И СТАНДАРТНЫХ ГЛЮКОМЕТРОВ

Аннотация: сахарный диабет – одно из наиболее часто встречающихся заболеваний среди людей. Для поддержания здоровья и сохранения продолжительности жизни люди самостоятельно регулируют уровень сахара в крови. Существует несколько вариантов измерения уровня глюкозы. Долгое время стандартные глюкометры являлись главным методом измерения, но с развитием технологий появились также непрерывные системы мониторинга. Данная статья проводит сравнительный анализ этих двух методов.

Ключевые слова: Глюкометр, НМГ (непрерывный мониторинг), сахарный диабет, глюкоза, гликемия.

Сахарный диабет – хронического заболевание, требующее постоянного контроля гликемии. От которого напрямую зависит состояние здоровья и качество жизни пациента [1]. Глюкометр – является самым известным методом контроля глюкозы в крови, но технологическая эволюция внесла свои коррективы и ввела в использование системы непрерывного мониторинга, которые изменили и упростили подход к управлению диабетом [2].

Традиционные глюкометры:

Принцип работы: глюкометр измеряет уровень глюкозы в капиллярной крови, полученной из пальца или ладони. Кровь наносят на тест полоску с ферментом, который вступает в реакцию с глюкозой, содержащейся в образце крови. Электрохимический датчик считывает результат, преобразует его в числовое значение и передает полученное значение на экран.

Плюсы глюкометров:

1. Точность. При правильном использовании глюкометры обеспечивают высокую точность измерения.

2. Простота использования. Глюкометры не требуют дополнительных знаний в сфере технологий. Имеют простой интерфейс, а также, что не мало важно просты в обучении работы с ним.

3. Прямое измерение. Глюкометр измеряет глюкозу непосредственно в крови, что является прямой физиологической метрикой.

4. Цена. Глюкометр и расходный материал к нему является относительно недорогой потребностью, а также выдается пациентам по льготе [3].

Минусы глюкометров:

1. Измерение в конкретный момент времени. Глюкометр не показывает тенденцию изменения глюкозы в крови, в следствии, чего можно пропустить резкие скачки сахара или гипогликемию [2].
2. Дискомфорт. К дискомфорту приводят частые проколы пальца для измерения.
3. Влияние человеческого фактора. На точность могут влиять грязные руки, просроченные или некачественные тест полоски, недостаточный объем крови.

Системы непрерывного мониторинга (НМГ):

Принцип работы: Система НМГ состоит из 3 компонентов:

1. Сенсор. Гибкий электрод, который вводится в межклеточную жидкость подкожно-жировой ткани и измеряет уровень глюкозы в тканевой жидкости. Сенсор измеряет глюкозу каждые 1 - 5 минут
2. Передатчик. Подключается к сенсору и передает данные на приемник.
3. Приемник или приложение. Специальное устройство или смартфон, которое отображает данные.

Плюсы систем НМГ:

1. Динамика. НМГ показывает график изменения уровня глюкозы со стрелками, указывающими на дальнейшее изменение значения, что позволяет заранее отреагировать [2].
2. Сигнализация. На приемник или в приложение приходит оповещение о высоких и низких значениях измерения.
3. Снижение болезненности. Датчик устанавливается 1 раз в 14 дней, что избавляет от ежедневного прокола пальца.

Минусы систем НМГ:

1. Запаздывание показаний. Глюкоза в межклеточной жидкости изменяется на 5-10 минут позже, чем в крови [4].
2. Цена. НМГ значительно дороже, чем глюкометры.
3. Высокая погрешность. На показания могут влиять несколько причин, такие как неправильная установка датчика, неправильная эксплуатация (сильное механическое давление, превышение допустимой температуры использования), а также прием некоторых лекарственных средств [4].
4. Временные неудобства. Датчик может мешать на руке, в особенности детям, а также может вызывать психологические неудобства.

Сравнительная таблица 1:

Таблица 1

Сравнение глюкометров и систем НМГ по различным критериям

Критерий	Глюкометр	Система НМГ
Принцип измерения	глюкоза в капиллярной крови	глюкоза в межклеточной жидкости

Частота измерений	по требованию пользователя	автоматически, каждые 1-5 минут
Отображение данных	числовое	график, тренды, история
Функция оповещения	отсутствует	есть
Безопасность	высокая	низкая
Стоимость	низкая	высокая

Появление систем НМГ стало большим шагом в развитии диабетологии и внесло новые возможности для контроля уровня гликемии. Однако традиционный глюкометр не теряет своей актуальности.

Библиографический список

1. Эндокринология: национальное руководство. / Под ред. И.И. Дедова, Г.А. Мельниченко. – 2-е изд. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023. – 1120 с.
2. Древаль А.В., Болотская Л.Л. Непрерывный мониторинг глюкозы: новые возможности в управлении сахарным диабетом. // Терапевтический архив. – 2020. – Т. 92, №10. – С. 124-130.
3. Алгоритмы специализированной медицинской помощи больным сахарным диабетом. / Под ред. И.И. Дедова, М.В. Шестаковой, А.Ю. Майорова. – 11-й выпуск. – М., 2023.
4. Суркова Е.В., Майоров А.Ю., Токмакова А.В. Самоконтроль гликемии при сахарном диабете: от глюкометра к системам непрерывного мониторинга. // Сахарный диабет. – 2021. – №24(1). – С. 78-85.

© Варакута Д.О., 2025

УДК 53.082.9

Р.И. ВИЛЬДАНОВ

radmir.vildanov.04@mail.ru

Науч. руковод. – кандидат технических наук, доцент. Е.С. МОРОЗОВА

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ БИОМЕДИЦИНСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Аннотация: статья посвящена биомедицинским сенсорам для непрерывного мониторинга здоровья человека. Автор рассматривает основные типы сенсоров и их применение в медицине и реабилитации. Описаны конструктивные особенности устройств, их преимущества, а также ограничения. Отдельное внимание уделено перспективам развития сенсорных технологий.

Ключевые слова: биомедицинский сенсор; мультипараметрический; непрерывный мониторинг; биосовместимость; телемедицина; искусственный интеллект; микроэлектроника; глюкоза крови; персонализированная медицина.

Введение

Современная медицина всё активнее использует технологии, способные непрерывно контролировать состояние человека без постоянного участия врача. Одним из ключевых направлений стало создание биомедицинских сенсоров – устройств, способных непрерывно измерять важные физиологические и биохимические параметры организма [1].

Эти сенсоры применяются как в больницах, так и в повседневной жизни, позволяя отслеживать состояние пациентов с хроническими заболеваниями, спортсменов, а также, находящихся в группе риска.

Развитие микроэлектроники, гибких материалов и беспроводной передачи данных сделало возможным создание компактных, безопасных и надежных сенсоров. Они стали частью носимых устройств – таких как умные часы, фитнес-браслеты, медицинские пластыри и даже одежда с интегрированными сенсорами.

Основные типы биомедицинских сенсоров

Биомедицинские сенсоры различаются по типу измеряемого параметра и принципу действия. Среди наиболее распространенных выделяют несколько групп, которые указаны в табл. 1:

Таблица 1

Типы биомедицинских сенсоров

Тип сенсора	Основные параметры	Примеры использования	Преимущества	Ограничения
Электрофизиологические	Электрическая активность (сердца, мозга)	Кардиология, неврология	Высокая точность, непрерывный мониторинг	Может потребоваться инвазивное вмешательство
Биохимические	Химический состав (глюкоза, кислород)	Диабетология, интенсивная терапия	Быстрый и точный анализ	Возможность ложноположительных результатов
Оптические	Насыщение кислородом, артериальное давление	Перинатальная медицина, хирургия	Неинвазивность, мгновенная обратная связь	Требует хорошего контакта с кожей
Механические	Давление, движение, растяжение тканей	Ортопедия, неврология	Высокая надежность	Ограниченная точность в динамических условиях

Эта классификация показывает, что возможности сенсоров охватывают широкий диапазон медицинских задач – от контроля уровня сахара в крови до обнаружения микробов и анализа состава пота [2].

Конструкция и принципы работы

Современные биомедицинские сенсоры основаны на миниатюрных микросистемах, объединяющих чувствительный элемент, преобразователь сигнала, микропроцессор и модуль связи рис. 1. [3]. Основная задача сенсора – преобразовать физиологический параметр (например, химическую реакцию или электрический импульс) в измеряемый сигнал, который затем анализируется устройством.

Многие сенсоры работают совместно с мобильными приложениями, что позволяет передавать данные врачу или хранить их в облаке для анализа. Большое внимание уделяется биосовместимости материалов: используется силикон, полиимиды, графен и даже наночастицы золота. Эти материалы не вызывают раздражения и позволяют сенсорам оставаться на коже длительное время.

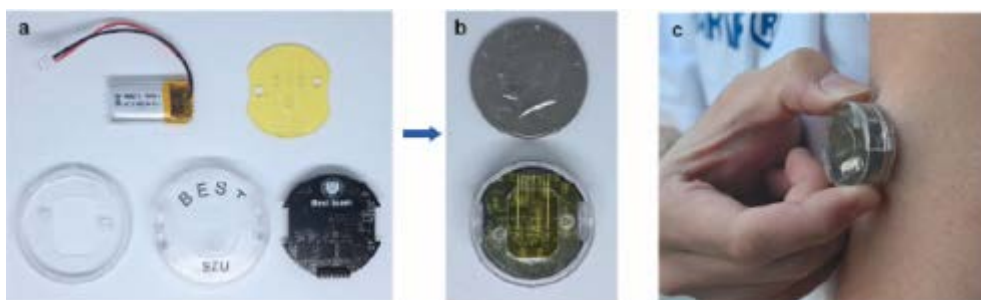


Рис. 2. Конструкция биосенсора

Некоторые разработки включают растворимые сенсоры, которые выполняют свою функцию и постепенно рассасываются в организме без необходимости хирургического удаления. Также активно развиваются гибкие сенсорные системы, которые можно интегрировать в одежду, пластыри и медицинские импланты.

Преимущества и проблемы применения

Использование биомедицинских сенсоров имеет ряд существенных преимуществ [4]:

1. Непрерывный мониторинг физиологических показателей, что особенно важно для пациентов с хроническими заболеваниями.
2. Неинвазивность и комфорт, поскольку многие сенсоры не требуют проколов кожи или хирургического вмешательства.
3. Персонализация лечения, когда данные сенсора позволяют врачу подбирать терапию под конкретного пациента.
4. Раннее выявление патологий, что помогает предотвратить осложнения.

Однако существует ряд проблем, которые пока ограничивают массовое внедрение:

1. Необходимость точной калибровки и защиты от внешних помех;
2. Нестабильность химических датчиков при длительном использовании;
3. Высокая стоимость производства и необходимость стандартизации.

Отдельное внимание уделяется вопросу безопасности данных, ведь информация о здоровье человека передается по беспроводным каналам и должна быть надёжно защищена от утечек.

Перспективы развития

Будущее биомедицинских сенсоров связано с применением искусственного интеллекта, наноматериалов и гибкой электроники нового поколения [5]. ИИ-алгоритмы способны анализировать большие объёмы данных, поступающих от сенсоров, и автоматически выявлять отклонения от нормы.

Кроме того, ведутся разработки самопитающихся сенсоров, которые получают энергию от тепла тела или механического движения.

Перспективным направлением считается создание мультипараметрических сенсоров, которые могут одновременно измерять несколько показателей – например, пульс, давление и концентрацию кислорода. Такое объединение позволит врачам получать более полную картину состояния организма и проводить точную диагностику.

Также ожидается развитие технологий телемедицины, где данные сенсоров будут в реальном времени передаваться в медицинские центры, что особенно важно для удалённых регионов.

Вывод

Биомедицинские сенсоры становятся важным инструментом современной медицины. Они позволяют проводить диагностику и контроль состояния организма в реальном времени, обеспечивая высокую точность и индивидуальный подход к каждому пациенту.

Несмотря на существующие технические и этические вызовы, развитие этой области продолжается стремительными темпами.

В ближайшие годы можно ожидать появления новых сенсорных систем, интегрированных с искусственным интеллектом, что сделает медицину еще более точной, предсказуемой и доступной для всех [6].

Библиографический список

1. Во Д.-К., Тринь К.Т.Л. Современные достижения в области носимых биомедицинских сенсоров для здравоохранения: тенденции, применение и перспективы // Биосенсоры. – 2024. – Т. 14, № 7. – С. 560–575
2. Смит А.А., Ли Р., Цзе Ц.Т.Х. Трансформация медицины с помощью носимых биосенсоров // Научные отчеты (Scientific Reports). – 2023. – Т.13, № 7. – С. 112–128.
3. Джангхобан М., Хоссейни Э., Чой С. Новейшие достижения, возможности и вызовы в разработке носимых биосенсоров // Журнал биомедицинской инженерии и технологий. – 2022. – Т.9, № 4. – С. 245–263.
4. Чэн С., Ван Х., Ким Дж. Интеллектуальные носимые сенсоры для мониторинга здоровья и заживления ран на основе биологических жидкостей // Фронтиры биоинженерии и биотехнологии. – 2021. – Е. 9. – С. 765–781.
5. Сантос Т.Ф., Перейра К., Кошта Р. Новые технологии в носимых сенсорах пота и мониторинга здоровья следующего поколения // Материалы ACS Letters. – 2025. – Т. 7, № 2. – С. 98–113.
6. Тамура Т., Чен В. Бесшовный медицинский мониторинг: достижения в области носимых и невидимых устройств. – Берлин: Springer, 2018. – 342 с.

© Вильданов Р.И., 2025

К.И. ГИЗЗАТУЛЛИНА

kamila03082@gmail.com

Науч. руковод. – к.т.н., доцент кафедры БМИ З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕДИЦИНСКИЕ АНАЛИЗАТОРЫ: РАЗНОВИДНОСТИ И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ

Аннотация: в статье проведен обзор современного лабораторного оборудования на примере автоматизированных мочевых анализаторов. Рассмотрены основные типы приборов: анализаторы на основе тест-полосок, проточные цитофлуориметрические и культуральные системы. Описаны принципы их работы и методики анализа. Проанализированы ключевые преимущества и ограничения автоматизированных систем.

Ключевые слова: анализаторы мочи; общий анализ мочи; автоматизация; сухая химия; проточная цитофлуориметрия; микроскопия осадка; тест-полоски; диагностика.

Общий анализ мочи (ОАМ) – одно из самых распространенных и информативных лабораторных исследований, которое является незаменимым инструментом в руках врача. Оно позволяет оценить состояние не только мочевыделительной системы, но и всего организма в целом, выявляя нарушения в работе почек, печени, эндокринной системы, метаболические расстройства и признаки воспалительных процессов. На протяжении десятилетий анализ проводился исключительно «вручную» – с помощью микроскопа и визуальной оценки тест-полосок. Однако с развитием технологий на смену трудоемким и субъективным методам пришли автоматизированные анализаторы мочи, которые совершили настоящую революцию в лабораторной диагностике [1].

Современные анализаторы мочи – это высокотехнологичные системы, обеспечивающие высокую скорость, точность и стандартизацию исследований. Они позволяют минимизировать человеческий фактор, обрабатывать большое количество проб и выдавать развернутый результат в кратчайшие сроки. В данной статье мы рассмотрим основные разновидности этих приборов, принципы их работы и методики, которые они используют.

Автоматические анализаторы мочи можно классифицировать по типу определяемых параметров и используемым технологиям. Условно их делят на две большие группы:

полуавтоматические анализаторы, в которых часть операций (например, нанесение пробы) выполняется лаборантом вручную, а последующие этапы (измерение, расчет, вывод результата) – прибором автоматически [5, с. 4].

полностью автоматические анализаторы (роботизированные системы) [6, с. 57], в которых весь процесс, от идентификации пробирки до выдачи готового протокола, происходит без участия оператора. Такие системы часто включают модули для физико-химического и микроскопического анализа [1].

В современной лабораторной диагностике существует несколько основных подходов к исследованию мочи. Анализаторы на основе тест-полосок являются наиболее распространённым решением. Их работа основана на использовании специальных пластиковых полосок, содержащих реагенты для определения различных показателей. При контакте с мочой происходит химическая реакция, изменяющая цвет индикаторных зон. Фотометрический метод позволяет измерить интенсивность окраски и определить концентрацию таких компонентов, как лейкоциты, нитриты, белок и глюкоза. Этот подход отличается быстротой и простотой использования, хотя иногда может давать ложные результаты из-за влияния лекарственных препаратов или примесей [4].

Более продвинутые системы представлены проточными цитофлуориметрическими анализаторами. Они автоматизируют процесс микроскопии осадка мочи, используя комбинацию проточной цитофлуориметрии и флуоресцентного анализа. В процессе работы частицы осадка выстраиваются в потоке и проходят через лазерный луч. Анализируя характеристики светорассеяния, система определяет размер, структуру и форму клеток, а также идентифицирует их тип по флуоресценции. Такой подход позволяет точно определять эритроциты, лейкоциты, цилиндры, бактерии и другие элементы, хотя стоимость подобных систем остаётся достаточно высокой.

Для микробиологических исследований применяются культуральные анализаторы. Эти системы автоматизируют процесс посева мочи на питательные среды и последующего анализа выросших колоний. После инкубации прибор сканирует колонии и анализирует их характеристики, что значительно ускоряет и стандартизирует процесс исследования. Однако такие системы чаще всего используются в крупных лабораториях из-за их высокой стоимости и сложности обслуживания.

Современная тенденция развития лабораторной диагностики направлена на создание интегрированных систем анализа. Такие комплексы объединяют в одном корпусе модули для химического анализа и исследования осадка мочи, позволяя получать полный спектр диагностических данных из одной пробы [7].

Процесс автоматизированного исследования включает несколько этапов: подготовку и перемешивание образца, идентификацию по штрих-коду, проведение измерений, обработку полученных данных и их верификацию. Результаты, вызывающие сомнения, автоматически отмечаются и проверяются лаборантом с помощью ручной микроскопии [3].

Автоматизация анализа мочи обеспечивает высокую скорость работы, объективность результатов и точность измерений, существенно экономя трудовые ресурсы. Однако существуют определённые ограничения: высокая стоимость оборудования, необходимость верификации сложных случаев

специалистом, чувствительность к ошибкам на преаналитическом этапе и потребность в регулярном техническом обслуживании [7].

Анализаторы мочи прошли долгий путь от простых считывателей тест-полосок до высокоинтеллектуальных роботизированных комплексов. Их внедрение в клиническую практику кардинально изменило подход к лабораторной диагностике заболеваний мочевыделительной системы и других патологий. Современные комбинированные системы, объединяющие методы сухой химии и проточной цитофлуориметрии, предоставляют врачу быстрый, точный и максимально полный отчет об анализе мочи [3].

Несмотря на все технологические достижения, важно помнить, что автоматический анализатор – это мощный инструмент, эффективность которого напрямую зависит от грамотного использования. Соблюдение правил преаналитического этапа, регулярный контроль качества и профессиональная верификация сомнительных результатов остаются залогом точной диагностики и, как следствие, правильного лечения пациента. Будущее за дальнейшей интеграцией, миниатюризацией и развитием искусственного интеллекта [6], который сможет еще точнее интерпретировать сложные диагностические случаи.

Библиографический список

1. Расшифровка результатов общего анализа мочи у взрослых: таблица – URL: <https://yandex.ru/health/turbo/articles?id=3898> (дата обращения 04.11.2025).
2. Мочевые анализаторы: назначение, виды, принцип работы – URL: <https://corway.ru/materialy/mochevoj-analizator-naznachenie-vidy-princip-raboty/> (дата обращения 04.11.2025).
3. Диагностическая ценность портативного анализатора мочи «ЭТТА АМП-01», как инструмента самостоятельного мониторинга в mHealth и при скрининге в первичном звене медицинской помощи | Экспериментальная и клиническая урология – URL: <https://ecuro.ru/article/diagnosticheskaya-tsennost-portativnogo-analizatora-mochi-etta-amp-01-kak-instrumenta-samost> (дата обращения 05.11.2025).
4. Мочевые анализаторы: сухая химия или приборный метод | «ДиаВет» – URL: <https://diakonvet.ru/stati/mochevye-analizatory-suhaya-himiya-ili-pribornyy-metod/> (дата обращения 05.11.2025).
5. Фетисов, В. С. Интеллектуальный анализатор жидкостей для контроля мутности и концентрации дисперсной фазы / В. С. Фетисов, З. И. Харисова // Экологические системы и приборы. 2014. № 5. С. 3-9.
6. Харисова, З. И. Система для экспрессного определения гранулометрического состава суспензий на основе видеотехнических средств искусственной нейросети, дообучаемой в процессе работы / З. И. Харисова, В. С. Фетисов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2017. № 2. С. 57-64.

7. Контроль качества лабораторных исследований – URL:
<https://pmu.dcli.ru/articles/kontrol-kachestva-laboratornykh-issledovaniy/> (дата
обращения 08.11.2025)

© Гиззатуллина К.И., 2025

УДК 615.47

А.А. ГРАЧЕВ

Artemgr04@mail.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

ПРИНЦИП РАБОТЫ И РЕЖИМЫ СОВРЕМЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ

Аннотация: аппарат ИВЛ предназначен для подачи воздуха в лёгкие под положительным давлением. Разделяют два основных подхода к управлению вдохом: контроль по объёму и контроль по давлению.

Ключевые слова: искусственная вентиляция лёгких (ИВЛ), режимы вентиляции, принцип положительного давления.

Искусственная вентиляция лёгких применяется для поддержания жизни в неотложных и экстренных ситуациях у пациентов с нарушением проходимости дыхательных путей или неэффективной вентиляцией [1].

Процедура основана на подаче вдохов под положительным давлением и зависит от податливости и сопротивления дыхательной системы. При спонтанном вдохе лёгкие расширяются, потому что транспульмональное давление создаётся в основном за счёт отрицательного плеврального давления, генерируемого дыхательными мышцами. Транспульмональное давление – это та сила, которая не даёт легкому спадаться под действием его собственной эластической тяги. Именно эта сила растягивает лёгочную ткань. В отличие от этого, при контролируемой ИВЛ используется положительное давление в дыхательных путях, чтобы направить газ в лёгкие [1-3].

Для создания положительного давления у аппарата ИВЛ есть турбина или компрессор. Устройство смешивает воздух с кислородом и подаёт его в дыхательные пути человека. От аппарата к пациенту идёт гибкий контур из трубок. По одной из них подаётся смесь, а по другой выходит выдыхаемый воздух [4].

Вдох происходит по команде врача. Аппарат либо вдувает заданный объём газа, либо создаёт и поддерживает определенное давление в лёгких на короткое время. Выдох же происходит пассивно, но аппарат ИВЛ всё равно поддерживает небольшое положительное давление в конце выдоха [4].

Важно отметить, что аппарат умеет чувствовать попытки пациента вдохнуть самостоятельно, поэтому помогает, синхронизируя свою работу с дыханием пациента. В этой задаче устройству помогает датчик потока, который измеряет, сколько воздуха и с какой скоростью он движется по контурам. Именно он позволяет аппарату почувствовать слабую попытку вдоха пациента. Кислородный датчик отвечает за концентрацию кислорода в смеси, а датчик

давления отслеживает показатель, чтобы не повредить лёгкие пациента. Вся эта информация приходит на процессор, который мгновенное бьёт тревогу, если что-то идёт не так [4].

Во многом вся электроника аппарата ИВЛ служит для того, чтобы точно управлять одним из важнейших параметров – порцией воздуха, которая попадает в лёгкие с каждым вдохом. Дыхательный объём – это объём воздуха, которым обмениваются лёгкие за один дыхательный цикл. В норме он зависит от роста и пола человека и составляет от 8 до 10 мл/кг идеальной массы тела. ИВЛ может проводиться в различных режимах, включая принудительные или вспомогательные. Во вспомогательном режиме аппарат доставляет вдох в ответ на дыхательное усилие пациента [1].

Дыхательный цикл при ИВЛ состоит из четырёх фаз:

1. Триггерная фаза – инициирует вдох, либо по усилию пациента, либо по заданным параметрам аппарата.

2. Инспираторная фаза – доставка воздуха в лёгкие пациента.

3. Фаза переключения – прекращение вдоха перед началом выдоха.

4. Экспираторная фаза – пассивный выдох воздуха из лёгких [1].

Различают три наиболее распространенных режима работы искусственной вентиляции лёгких:

Вспомогательно-контролируемая вентиляция с управлением по объёму (ACV/VC-ACV)

Вспомогательно-контролируемая вентиляция с управлением по давлению (ACP/PC-ACV)

Синхронизированная перемежающаяся принудительная вентиляция (SIMV) с поддержкой давлением (PSV) [1].

В режиме VC-ACV дыхательный объём обычно рассчитывается на основе идеальной или прогнозируемой массы тела, а не фактической. При состоянии, требующих протективной стратегии дыхательный объём устанавливают в диапазоне 4-8 мл/кг ИМТ. Частота дыхания обычно составляет 12-16 вдохов в минуту. Более высокая частота (до 35 вдохов/мин) может потребоваться для достижения достаточной минутной вентиляции, чтобы избежать тяжёлой гиперкапнии или компенсировать ацидоз. Скорость инспираторного потока обычно устанавливается на 40-60л/мин для достижения соотношения вдоха к выдоху 1:2 или 1:3. Более высокая скорость потока (до 90 л/мин) рекомендуется при тяжёлой обструкции дистальных дыхательных путей, чтобы увеличить время выдоха. Доля вдыхаемого кислорода (FiO_2) устанавливается на минимально необходимом уровне для поддержания сатурации (SpO_2) 90-96% [1].

В режиме PC-ACV инспираторное давление устанавливается на уровне 10-20 см H₂O, в зависимости от состояния пациента, для достижения адекватного дыхательного объёма. Время вдоха обычно устанавливается около 1 секунды и корректируется для достижения соотношения от 1:2 до 1:3. Доля вдыхаемого кислорода настраивается так же, как и в режиме VC-ACV [1].

PSV Обычно не используется как основной режим, а чаще применяется в процессе отлучения от ИВЛ. Дыхательный объём устанавливается аналогично режиму VC-ACV (4-8 мл/кг ИМТ) для принудительных вдохов. Поддержка давлением обычно составляет от 5 до 15 см H₂O для спонтанных вдохов пациента, совершаемых сверх установленной частоты [1].

Также в аппаратах ИВЛ предусмотрен режим APRV. Это форма постоянного положительного давления в дыхательных путях с периодическими кратковременными сбросами давления, что позволяет пациенту дышать спонтанно. APRV поддерживает лёгкие в расправленном состоянии благодаря длительной фазе высокого давления, а короткая фаза сброса облегчает выведение CO₂. Благодаря опоре на спонтанное дыхание, APRV требует меньшей седации, что снижает риски, связанные с ней. Спонтанное дыхание улучшает вентиляцию зависимых (нижних) отделов лёгких, снижает внутригрудное давление и улучшает гемодинамику (увеличивает преднагрузку и сердечный выброс) [1].

Важно выделить также и проблемные аспекты при работе с аппаратом искусственной вентиляции лёгких [1].

В первую очередь, следует обратить внимание на возможность повреждения лёгких самим аппаратом (Вентилятор-ассоциированное повреждение лёгких). Это часто возникает, если параметры вентиляции не рассчитываются на основе индекса массы тела, особенно при остром респираторном дистресс-синдроме. Протективная стратегия с низкими дыхательными объёмами и контролем давления помогает предотвратить это [1].

Стоит также рассмотреть вентилятор-ассоциированные события, когда наблюдается ухудшение респираторного статуса после периода стабилизации на ИВЛ. Чаще всего это связано с появлением инфекций или воспалений, из-за ослабленного состояния пациента [1].

Гемодинамические изменения связаны с повышением внутригрудного давления, так как ИВЛ меняет механику работы не только лёгких, но и сердца. Когда мы дышим сами, в груди создаётся отрицательное давление, которое помогает крови возвращаться к сердцу, а аппарат ИВЛ, наоборот, нагнетает положительное давление. Это давление поджимает крупные сосуды и сердце, из-за чего крови становится сложнее вернуться к сердцу. Это снижает преднагрузку на правый и левый желудочки, а также постнагрузку на левый желудочек, но увеличивает постнагрузку на правый. Если у пациента шок и давление и так низкое, то уменьшение притока крови к сердцу может стать последней каплей [1].

Искусственная вентиляция лёгких – это очень мощный инструмент, требующий от врача глубокого понимания физиологии и постоянного контроля. Именно поэтому его ведение требует не хаотичных действий, а слаженной командной работы. Вся суть работы ИВЛ – это переход от естественного втягивания воздуха к искусственному вдуванию под давлением. Именно этот переход создаёт главную задачу для врача. Обеспечить организм кислородом,

выбрав правильный режим и настройки, а также постоянно помнить о рисках для лёгких и работы сердца [1].

Библиографический список

1. С.М. Хики, Абдулгани Санкари, Аль О. Гива. Искусственная вентиляция. [Электронный ресурс] URL.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539742/> (дата обращения: 9.11.2025)
2. М.С. Сток, Дж. Б. Даунс, Д. А. Фролихер Вентиляция с понижением давления в дыхательных путях [Электронный ресурс] URL.: <https://rc.rcjournal.com/content/65/4/559> (дата обращения: 9.11.2025)
3. Карун Неупане, Радия Т. Джамиль. Физиология, транспульмональное давление. [Электронный ресурс] URL.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559004/> (дата обращения: 9.11.2025)
4. М.Дж. Тобин. Принципы и практика искусственной вентиляции лёгких. – 4-е изд. – 2021. – С. 150–250.

© Грачев А.А., 2025

А.А. ЗАВОДЧИКОВ

sasha.zavodchikov.04@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент каф. БМИ К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

К ВОПРОСУ О ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЧИСТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ В ОПЕРАЦИОННЫХ

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы функционирования системы мониторинга параметров чистых помещений в операционных блоках медицинских учреждений. Приведена структурная схема разработанной системы. Показана актуальность применения автоматизированных систем мониторинга для обеспечения нормативных параметров микроклимата, снижения риска внутрибольничных инфекций и повышения безопасности пациентов.

Ключевые слова: чистые помещения; операционные; система мониторинга; микроклимат; датчики; микроконтроллер; автоматизация; безопасность пациентов

Актуальность исследования систем мониторинга параметров в чистых помещениях операционных в условиях Российской Федерации обусловлена комплексом факторов. В последние годы в стране активно реализуются программы модернизации здравоохранения, предусматривающие строительство и реконструкцию хирургических корпусов, соответствующих современным требованиям. Одновременно сохраняется проблема внутрибольничных инфекций, значительная доля которых связана с несоблюдением нормативных параметров микроклимата и чистоты воздуха в операционных зонах.

Современные операционные относятся к классу *чистых помещений*, где поддержание строго контролируемых параметров микроклимата и чистоты воздуха является критическим условием безопасности пациентов и успешного проведения хирургических вмешательств. Любое отклонение таких параметров, как температура, влажность, давление, концентрация взвешенных частиц и микробиологическая чистота воздуха, может привести к повышению риска инфекционных осложнений, нарушению стерильности инструментов и ухудшению условий труда медицинского персонала.

Мониторинг параметров в режиме реального времени обеспечивает непрерывный контроль состояния среды, оперативное выявление отклонений и возможность автоматической корректировки работы систем вентиляции и фильтрации. Это особенно важно в условиях интенсификации хирургической деятельности и ужесточения требований санитарных норм (например, ГОСТ ISO 14644).

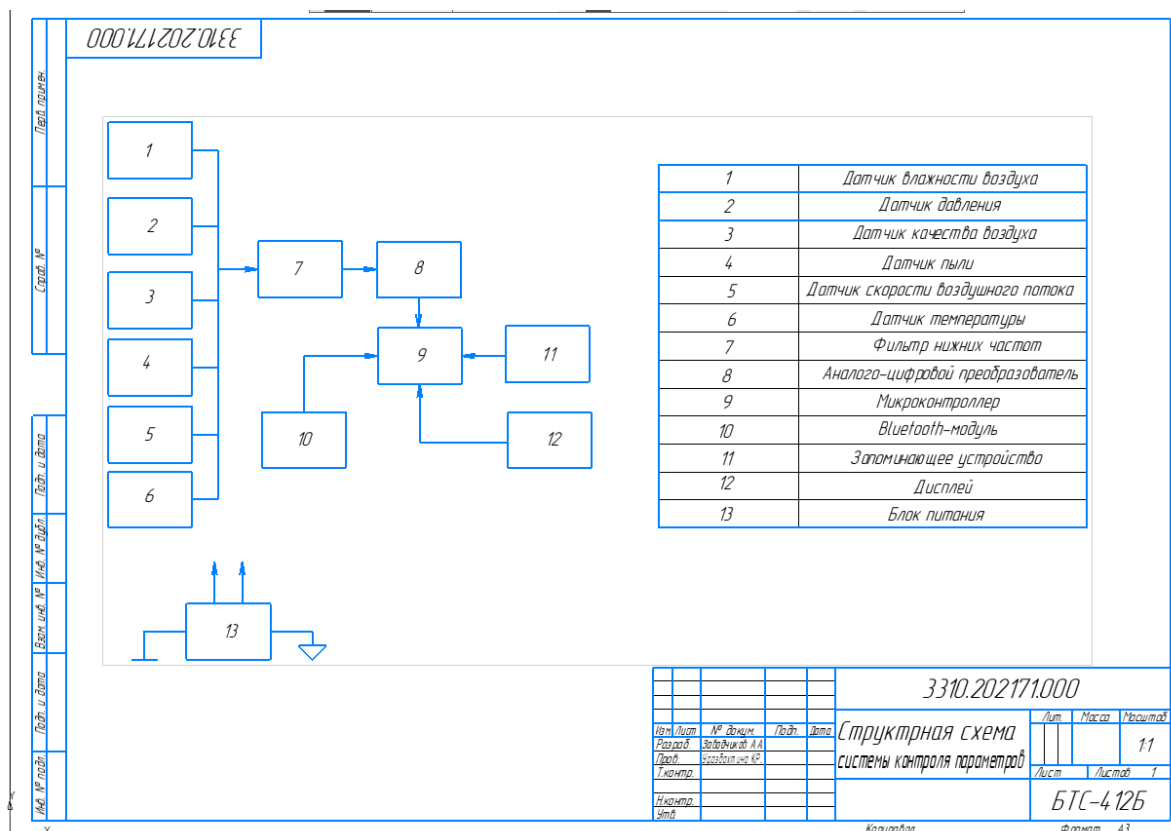


Рис. 1. Структурная схема

Описание структурной схемы: Блок питания 13 обеспечивает электропитание всех компонентов системы. Шесть датчиков непрерывно измеряют параметры окружающей среды: датчик температуры 6, датчик влажности воздуха 1, датчик давления 2, датчик пыли 4, датчик качества воздуха 3, а также датчик скорости воздушного потока 5.

Аналоговые сигналы с датчиков сначала подаются на фильтры нижних частот 7 для подавления высокочастотных помех. После фильтрации аналоговые сигналы поступают на аналого-цифровые преобразователи 8, где преобразуются в цифровую форму, понятную микроконтроллеру.

Микроконтроллер 9 является центральным управляющим элементом: он принимает оцифрованные данные, обрабатывает их и преобразует в единицы измерения. Полученные результаты микроконтроллер выводит на дисплей 12 для наглядного отображения текущего состояния воздуха в виде численных значений или графиков. Одновременно, при необходимости, микроконтроллер передает эти данные через Bluetooth-модуль 10 на внешние устройства, такие как смартфон или компьютер, для удаленного мониторинга, ведения статистики или формирования сигналов тревоги.

Запоминающее устройство 11 собирает все данные для создания архива измерений, что позволяет накапливать историю данных, строить графики изменений параметров во времени и проводить последующий анализ.

Последовательность сбора показаний с датчиков:

1) Датчик температуры и влажности опрашивают первым, потому что температура и влажность влияют на калибровку других параметров.

2) Датчик давления считывается вторым, так как давление – относительно стабильный параметр, но может использоваться для расчёта перепада давления между помещениями.

3) Датчик пыли / частиц требует прогрева и усреднения, поэтому опрашивается после стабильных параметров среды.

4) Датчик качества воздуха чувствителен к изменениям температуры и влажности, поэтому опрашивается после предыдущих двух типов.

5) Датчик скорости воздушного потока считывается последним в цикле, т.к. может зависеть от состояния фильтрации и вентиляции.

Заключение. Автоматизированная система мониторинга параметров чистых помещений в операционных обеспечивает поддержание нормативного микроклимата, снижает риск внутрибольничных инфекций и повышает безопасность пациентов. Разработанная структура позволяет оперативно контролировать ключевые показатели среды и передавать данные для удалённого наблюдения, что подтверждает её практическую значимость и эффективность применения.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц. – М.: Стандартинформ, 2018. – 31 с.

2. ГОСТ Р ИСО 14644-3-2020 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 3. Методы испытаний. – М.: Стандартинформ, 2021. – 52 с.

3. ГОСТ Р ИСО 14644-5-2005 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 5. Эксплуатация. – М.: Стандартинформ, 2006. – 28 с.

4. Мониторинг чистых помещений в больницах и госпиталях [Электронный ресурс]. – URL: <https://olil.ru/articles/monitoring-chistyh-pomeshhenij-v-bolniczah-i-gospitalyah> (дата обращения: 08.11.2025)

5. Практические методы разработки систем мониторинга, аттестации чистых помещений и регулярного планового мониторинга аэрозольных частиц [Электронный ресурс]. – URL: https://clri.ru/upload/iblock/2014.2_19-27.pdf (дата обращения: 08.11.2025)

© Заводчиков А.А., 2025

УДК 615.471

М.У. ЗАКИРЗЯНОВ

auditoaremarat@gmail.com

Науч. руковод. – ст. преподаватель кафедры БМИ Н.С. ИВАНОВА

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ АППАРАТЫ МАГНИТОЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ: АНАЛИЗ И ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Аннотация: в работе проведён анализ современных аппаратов магнитолазерной терапии (МЛТ) – перспективного физиотерапевтического метода, сочетающего воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения и магнитного поля. Исследованы принцип действия, классификация и технические характеристики существующих устройств. На основе метода анализа иерархий выполнен сравнительный анализ аппаратов «Муравей», «МИТ-1 МЛТ» и «УзорМед-890».

Ключевые слова: магнитолазерная терапия; физиотерапия; медицинская техника; низкоинтенсивное лазерное излучение; магнитное поле; метод анализа иерархий; структурная схема; сравнительный анализ.

Магнитолазерная терапия (МЛТ) представляет собой современный метод физиотерапевтического лечения, основанный на синергетическом воздействии низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) и магнитного поля. Данный метод демонстрирует высокую эффективность при лечении широкого спектра заболеваний: от воспалительных и дегенеративных процессов опорно-двигательного аппарата до неврологических расстройств и патологий сердечно-сосудистой системы [1]. Комбинированное воздействие приводит к усилению микроциркуляции, активации клеточного метаболизма, ускорению регенеративных процессов и снижению болевого синдрома [2].

Согласно статистике рынка медицинского оборудования, сегмент аппаратов МЛТ в России демонстрирует ежегодный рост в 12-15%, а их доля в общем объёме продаж физиотерапевтической техники составляет около 25%. Широкое распространение МЛТ в клинической практике обусловлено ее неинвазивностью, безопасностью и минимальными побочными эффектами. Однако разнообразие аппаратов МЛТ на рынке, отличающихся техническими параметрами, функциональностью и стоимостью, создает сложности при выборе оптимального оборудования для конкретных медицинских задач. В связи с этим актуальной задачей является проведение сравнительного анализа существующих аппаратов МЛТ и обоснование выбора на основе объективных критериев.

Аппарат МЛТ обычно включает генератор лазерного излучения, источник магнитного поля и блок управления. Комбинированное воздействие приводит к биостимуляции на клеточном уровне: активации митохондрий, синтеза АТФ,

антиоксидантных систем, а также улучшению проницаемости мембран и микроциркуляции [3].

Аппараты магнитолазерной терапии классифицируются по способу воздействия (постоянное, импульсное, бегущее магнитное поле, а также по типу лазера), типу применения (контактные, бесконтактные, локальные, сканирующие) и мобильности (настольные, портативные). Некоторые модели могут комбинировать магнитотерапию и лазер с другими видами воздействия, например, светодиодным излучением или электростимуляцией.

Для анализа с помощью метода анализа иерархий (МАИ) [4] были выбраны три серийно выпускаемых модели аппаратов магнитолазерной терапии: «Муравей», «МИТ-1 МЛТ» и «УзорМед-890». Критерии сравнения: стоимость, масса, глубина проникновения и частота магнитного поля (см.табл.1).

Таблица 1

Сравнительные характеристики аппаратов МЛТ

Аппарат	Стоимость, руб	Масса, кг	Глубина проникновения, см	Частота поля, Гц
«Муравей»	25900	0,2	7	80
«МИТ-1 МЛТ»	26000	2,5	3	10
«УзорМед-890».	16500	0,1	5	280

На основе попарных сравнений определены весовые коэффициенты критериев: стоимость – 51,8%, масса – 21,7%, частота поля – 17,4%, глубина проникновения – 9,2%.

В результате расчета по МАИ получены интегральные веса альтернатив:

- «Муравей» – 57,1%;
- «МИТ-1 МЛТ» – 28,6%;
- «УзорМед-890» – 14,3%.

Аппарат «Муравей» продемонстрировал наилучший баланс характеристик, особенно выигрывая по массе и глубине проникновения при приемлемой стоимости.

Для повышения клинической эффективности и удобства эксплуатации была разработана усовершенствованная структурная схема аппарата МЛТ. Ключевым нововведением стало включение в систему блока памяти,

предназначенного для хранения и быстрого доступа к стандартизированным протоколам лечения различных нозологий. Это позволяет:

- Сократить время на подготовку процедуры, исключив ручной ввод параметров.
- Повысить безопасность лечения, минимизировав риск ошибок оператора при настройке.
- Обеспечить воспроизводимость результатов за счет использования проверенных и утвержденных режимов воздействия.

На основе анализа патентов [5-7] и существующих решений была разработана структурная схема аппарата МЛТ (см.рис. 1).

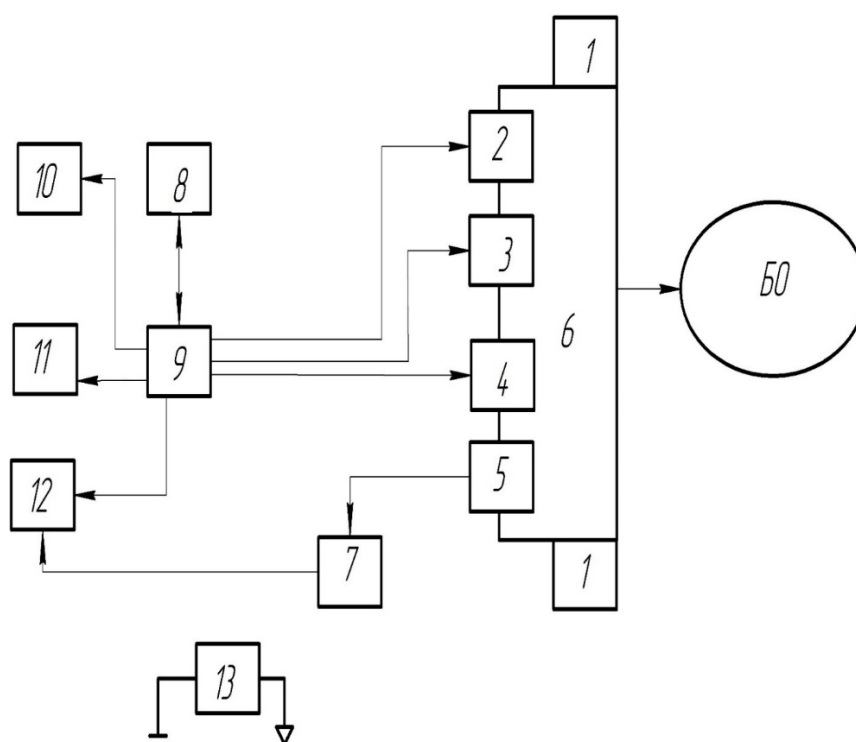


Рис. 1. Разработанная структурная схема

Сущность изобретения иллюстрируется чертежами, где на рисунке изображена структурная схема аппарата. При этом введены следующие обозначения: 1 – магнит (источник постоянного магнитного поля), 2 – светодиод красной подсветки, 3 – лазерный излучатель, 4 – ИК-светодиоды, 5 – фототранзисторы, 6 – терминал, 7 – ждущий мультивибратор, 8 – блок памяти, 9 – микроконтроллер, 10 – устройство ввода и переключения режимов работы, 11 – блок звуковой сигнализации, 12 – блок световой индикации, 13 – блок питания.

Библиографический список

1. Куликов, А. Г. Магнитолазерная терапия: руководство для врачей / А. Г. Куликов, С. Л. Носова. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2019. – 208 с.

2. Чирков, А. Ю. Магнитолазерная терапия в клинической практике / А. Ю. Чирков. – Москва : Медицинская книга, 2021. – 176 с.
3. Котляр, Ю. Ф. Аппараты физиотерапии и принципы их действия / Ю. Ф. Котляр. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. – 158 с.
4. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати. – Москва: Радио и связь, 1993. – 278 с.
5. Патент RU2179869C1 Российская Федерация. Аппарат для магнитофотолазерной терапии: № 2000113267/14; заявл. 26.05.2000; опубл. 27.02.2002 // Рос. Федерация. – 2002.
6. Патент RU2280481C2 Российская Федерация. Аппарат магнитолазерной терапии: № 2005114844/14; заявл. 17.05.2005; опубл. 27.07.2006 // Рос. Федерация. – 2006.
7. Патент 2134601C1 Российская Федерация. Аппарат для магнитолазерной терапии : № 98100726/14 ; заявл. 19.01.1998 ; опубл. 20.08.1999 // Рос. Федерация. – 1999.

© Закирзянов М.У., 2025

УДК 614.2

У.В. ИВАНОВА

iva.ulya2002@yandex.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАБОТ НА ТЕМУ БЕРЕЖЛИВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ЗДРАВООХРАНЕНИИ

Аннотация: статья фокусируется на аналитическом обзоре публикаций, находящихся в общем доступе, посвященных внедрению принципов бережливого производства в здравоохранение. Статья направлена на специалистов в области здравоохранения, менеджеров и исследователей, интересующихся современными подходами к повышению эффективности работы медицинских учреждений.

Ключевые слова: бережливое здравоохранение; публикации; бережливое производство; медицинская организация; внедрение.

Отечественная сфера здравоохранения претерпевает заметные изменения последние десять лет. Ключевое изменение направлено на внедрение системы бережливого производства в рамках работы медицинской организации. Анализ опыта применения бережливого производства в медицинских организациях и оценка его вклада в конечные результаты оказания медицинской помощи являются важными для определения роли бережливых практик в системе здравоохранения. Выполнение анализа опыта применения бережливого производства в здравоохранение необходимо начать с анализа общедоступных работ по выбранной тематике.

В открытом доступе представлено десятки работ по исследуемой теме. Нами был проанализирован такой источник литературы, как научная электронная библиотека «КиберЛенинка» [1]. Запросы на сайте содержали следующие ключевые слова: «бережливое здравоохранение», «бережливая поликлиника», «бережливые технологии в медицине». В ходе рассмотрения результатов поиска была создана классификация публикаций, которые охватывают направление бережливого здравоохранения. Классификация отображена на рисунке 1. Далее представлен подробный разбор каждого уровня классификации.

По типу публикаций выделяются научные статьи, методические пособия и обзоры литературы. К научным статьям относятся исследования, посвященные теоретическим аспектам и практическому применению бережливого производства в здравоохранении. Методические пособия представляют собой рекомендации и инструкции для медицинских работников по внедрению в

практику. Обзор литературы – это статьи с систематизированным анализом существующих исследований и публикаций по анализируемой теме.

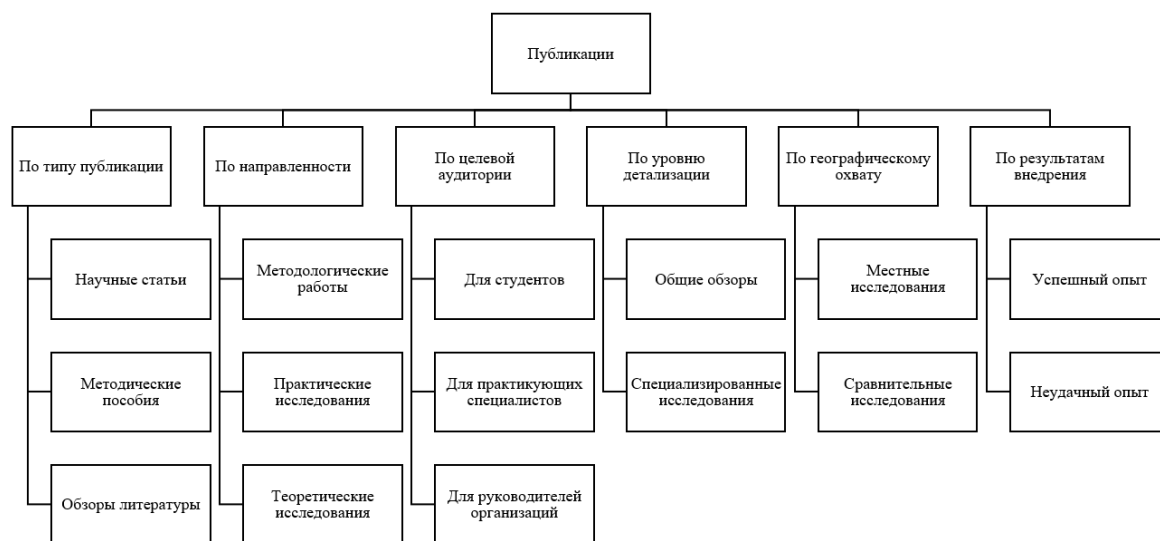


Рис. 1. Классификация публикаций

По направленности следует различать методологические работы, практические исследования, теоретические исследования. К методологическим работам относятся публикации, описывающие методы и инструменты бережливого производства. Под практическими исследованиями следует понимать работы, основанные на эмпирических данных и анализе результатов внедрения бережливых технологий. Теоретические исследования – это публикации, посвященные концептуальным основам бережливого производства и его философии.

По целевой аудитории публикации можно разделить как публикации для студентов, для практикующих специалистов и для руководителей организаций. К данному типу публикаций относятся учебные пособия и материалы, рекомендации для врачей и сотрудников медицинских учреждений, исследования и нормативные документы.

По уровню детализации можно выделить работы с общим обзором и специализированные исследования. Первые отображают общее представление о бережливом представлении в здравоохранение без углубления в детали, вторые фокусируются на конкретных методах бережливого производства.

По географическому охвату публикации разделяются на местные исследования и сравнительные исследования. Работы, относящиеся к местным исследованиям, посвящены внедрению бережливых технологий в конкретных медицинских учреждениях или в одном регионе. Сравнительные исследования представляют собой публикации, сравнивающие опыт стран или регионов в применении бережливого подхода в здравоохранении.

По результатам внедрения публикации делятся на успешные и неудачные. Успешные публикации демонстрируют положительный результат внедрения, неудачные публикации анализируют проблемы и неудачи при попытках внедрения бережливых технологий.

Большинство из доступных публикаций [2, 3] носят методическую направленность для использования студентами в качестве учебного пособия или медицинскими работниками, сотрудниками, ответственными за внедрение бережливых принципов в медицинскую организацию, в качестве руководства к применению. Вне зависимости от предназначения все методические пособия написаны по одной структуре. Первая часть посвящена общему описанию бережливого производства и его принципов. Во второй части идет описание бережливого здравоохранения и третья часть посвящена практическому применению принципов бережливости.

Среди публикаций, носящих методический характер, следует выделить пособия: «Перспективы внедрения принципов бережливой поликлиники в качестве основной стратегии повышения качества первичной медико-санитарной помощи» В. В. Горбань, Л. В. Бурба, О. В. Свистун; «Эффективное использование ресурсов. Бережливое здравоохранение» С. Г. Ахмерова, Г. Х. Ахмадуллина, В. В. Викторов, Р. Я. Нагаев, А. С. Рахимкулов, О. В. Романова; «Бережливое производство в здравоохранении» А. В. Ивашинников, А. М. Нямцу, В. А. Шуплецова [4, 5, 6].

Отдельные авторские подходы относительно термина «бережливое производство» отображены в табл. 1.

Таблица 2

Общие определения бережливого производства

Название пособия	Термин «бережливое производство»
«Перспективы внедрения принципов бережливой поликлиники в качестве основной стратегии повышения качества первичной медико-санитарной помощи»	«Бережливое производство» (Lean Production). Lean (постный, без жира, стройный) – состояние организации, которая может рассчитывать на минимум затрат и максимум эффективности [4].
«Эффективное использование ресурсов. бережливое здравоохранение»	Бережливое производство – (от англ. lean production, lean manufacturing – «стройное производство») – концепция управления производственным предприятием, основанная на рациональном использовании ресурсов и устранении всех потерь, которые можно избежать, не уменьшая качества продукта (услуги) [5].
«Бережливое производство в здравоохранении»	–

Несмотря на то, что указанные публикации являются качественными источниками информации и могут послужить основой для изучения концепции бережливого здравоохранения, стоит отметить, что их использование ограничивается в основном общей информацией и методическими подходами. Для более глубокого понимания важности и эффективности внедрения бережливых технологий в здравоохранение следует обратиться к более специализированным изданиям [7].

Такие публикации содержат анализы реальных примеров внедрения бережливых технологий, позволяя доступно и наглядно увидеть результаты, достигнутые другими учреждениями. Исходя из составленной классификации к таким публикациям относятся практические исследования, исследования результатов внедрения, местные и сравнительные исследования. Например, статья А.Г. Ластовецкого «Бережливый менеджмент в здравоохранении», которая рассматривает опыт внедрения бережливого производства в Министерстве здравоохранения Удмуртской Республики [8], статья В. А. Евдакова, А. М. Алленова, Г. Б. Артемьевой, Д. П. Львовой, С. Г. Алехиной, М. В. Гущина «Совершенствование деятельности городской поликлиники на основе бережливых технологий». В ней представлено исследование по оценке результатов внедрения концепции бережливого производства в ГБУЗ «Городская поликлиника № 210 ДЗМ» [9].

Таким образом, анализ работ позволил составить классификацию работ по теме бережливого здравоохранения в медицине. Классификация работ позволяет систематизировать существующие исследования и выделить основные направления, которые могут быть полезны как для практикующих специалистов, так и для исследователей. В дальнейшем классификация может быть использована для оценки эффективности внедрения принципов бережливого производства в систему здравоохранения.

Библиографический список

1. КиберЛенинка. Научная электронная библиотека. URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 19.04.2025).
2. Ластовецкий А.Г., Титов И.Г., Китанина К.Ю. Оценка принципов бережливости в медицинских учреждениях в перспективе и в настоящем // Вестник новых медицинских технологий. 2018. № 4. С. 83-93. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-printsipov-berezhlivogo-proizvodstva-v-medsinskih-uchrezhdeniyah-v-perspektive-i-v-nastoyaschem/viewer> (дата обращения: 19.04.2025).
3. Сундар Р., Баладжи А.Н., Сатишкумар Р.М. Обзор внедрения бережливого производства // Разработка процесса. 2014. № 97. С. 1875. URL: <https://cyberleninka.org/article/n/1007208> (дата обращения: 20.04.2025).
4. Бережливое управление в госсекторе: как наладить процессы // URL: <https://lean.cdto.ranepa.ru/> (дата обращения: 19.04.2025).

5. Ивашинников А.В., Нямцу А.М., Шуплецова В.А. Бережливое производство в здравоохранении // URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01010009114> (дата обращения: 20.04.2025).
6. Эффективное использование ресурсов: бережливое здравоохранение; учебное пособие / Сост.: С.Г. Ахмерова, Г.Н. Ахмадуллина, В.В. Викторов, Р.Үа Нагаев, А.С. Рахимкулов, О.В. Романова – Уфа: Изд-во ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2018 – [с.] URL: https://docs.yandex.ru/docs/view?tm=1734426358&tld=ru&lang=ru&name=uchebnoe_posobie_effektivnoe_ispol_zovanie_resursov_berezhlivoe_zdravoohranenie_2018_god_ufa.pdf&text (дата обращения: 20.04.2025).
7. Опыт внедрения технологий бережливого производства в здравоохранении: обзор лучших практик // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-vnedreniya-tehnologiy-berezhlivogo-proizvodstva-v-zdravoohranenii-obzor-luchshih-praktik/viewer> (дата обращения: 20.04.2025).
8. Ластовецкий А.Г., Бережливый менеджмент в здравоохранении // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/berezhlivyi-menedzhment-v-zdravoohranenii/viewer> (дата обращения: 20.04.2025).
9. Суцев А.Н., Совершенствование деятельности городской поликлиники на основе бережливых технологий // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-deyatelnosti-gorodskoy-polikliniki-na-osnove-berezhlivyh-tehnologiy/viewer> (дата обращения: 19.05.2025).

© Иванова У.В., 2025

УДК 614.2

У.В. ИВАНОВА

Iva.Ulya2002@yandex.ru

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

Уфимский университет науки и технологий

БЕРЕЖЛИВОЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЕ СЕГОДНЯ

Аннотация: в статье обзревается состояние отечественного здравоохранения в контексте внедрения принципов бережливого производства. Особое внимание уделяется направлению развития бережливого здравоохранения в 2025 году с учетом нового этапа внедрения бережливых практик.

Ключевые слова: бережливое здравоохранение, бережливая поликлиника; медицинская организация; эффективность, здравоохранение, внедрение, Региональный центр компетенций

В сфере здравоохранения бережливое производство на государственном уровне начало развитие в 2016 году с проекта «Бережливая поликлиника». В 2019 году проект по внедрению новой медицинской модели объединился с другим национальным проектом под названием «Здравоохранение». В эти годы велось комплексное повышение эффективного использования ресурсов системы здравоохранения.

Поэтапно этот период можно представить следующим образом:

1. 2016-2017 годы. Проект «Бережливая поликлиника»;
2. 2017-2018 годы. Проект «Создание новой модели медицинской организации, оказывающей медико-санитарную помощь»;
3. 2019-2024 годы. Проект «Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи» в составе национального проекта «Здравоохранение».

В период с 2016 по 2024 год целью внедрения принципов бережливости в здравоохранение было повышения эффективности первичной медико-санитарной помощи [1]. Именно она является основным показателем успешной работы системы здравоохранения нашей страны.

В итоге на начало 2025 года 6,8 тысяч медицинских учреждений успешно внедрились бережливые технологии в повседневную практику (рис. 1). Такой результат повысил уровень доступности медицинских услуг, а также их качество благодаря уменьшению времени нахождения пациентов в очередях и упрощению записи к пациентам.

Начиная с 2025 года цель применения принципов бережливости в здравоохранении меняет фокус с внедрения в отдельных медицинских учреждениях на создание целостных пациентоориентированных путей

процессным моделям управления. Все 85 отдельных региональных центров, созданных ранее в рамках проекта «Развитие системы оказания первичной медико-санитарной помощи», продолжают свою работу и к ним будут добавлены центры Донецкой и Луганской Народных Республиках, Запорожской и Херсонской областях, а в дальнейшем будут организованы региональные центры компетенций.



Рис. 2. Динамика роста числа медицинских учреждений, участвующих в федеральном проекте

Региональный центр компетенций по внедрению технологий бережливого производства в отрасли здравоохранения (РЦК) – структурное подразделение органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации в сфере охраны здоровья или организации, подведомственной органу исполнительной власти субъекта Российской Федерации в сфере охраны здоровья, осуществляющее планирование, методическую поддержку, мониторинг, координацию, стандартизацию, информирование, повышение уровня компетенций своих работников в отношении мероприятий по внедрению бережливого производства в отрасли здравоохранения субъекта Российской Федерации в целях повышения производительности труда в рамках реализации регионального проекта [2].

Перед переходом к новой модели внедрения бережливых технологий в медицину необходимо обозначить в чем заключаются особенности и принципы модели бережливого здравоохранения. Необходимо понять какие методы и инструменты перехода от бережливых технологий к проектированию клиентских путей и процессным моделям управления будут наиболее эффективными. С целью помощи в этом вопросе в апреле 2025 года Минздрав РФ выпустил четвертое издание методических рекомендаций по внедрению новой модели, основанной на технологии бережливого производства.

Методические рекомендации по организации работы регионального центра компетенций по внедрению технологий бережливого производства в отрасли здравоохранения предусматривают создание специализированных структур, ответственных за координацию и поддержку внедрения бережливых

методов на региональном уровне. В документах подробно описаны ключевые функции таких центров, включая обучение кадров, проведение оценки текущих процессов, разработку и внедрение проектов по повышению эффективности, а также обмен лучшими практиками и опытом между учреждениями.

На этапе с 2025 года стратегический акцент смещается с внедрения в отдельных учреждениях на формирование целостных, пациент-ориентированных путей и процессных моделей управления. Создание региональных центров компетенций и стандартных методических основ свидетельствует о дальнейшем системном подходе к развитию бережливого здравоохранения. Такой трансформационный переход способствует повышению эффективности системы, снижению временных и ресурсных затрат, а также укреплению ее устойчивости и адаптивности к современным вызовам.

Таким образом, внедрение бережливых технологий за эти годы стало важным фактором реформирования системы здравоохранения России, обеспечивая ее более эффективную работу и повышение уровня оказания медицинской помощи на всех уровнях.

Библиографический список

1. Федеральная служба по надзору в сфере здравоохранения. "Довольны ли россияне здравоохранением?" URL: https://pltf.ru/wp-content/uploads/2023/12/dovolny_li_rossiyane_zdravoohraneniem.pdf (дата обращения: 09.11.2025).

2. Министерство здравоохранения Российской Федерации. Методические рекомендации по внедрению новой модели, основанной на технологии бережливого производства. – М.: Минздрав России, 2025. – Режим доступа: https://socoamp.sakhalin.gov.ru/wp-content/uploads/2025/05/%D0%9C%D0%A0_%D0%9E%D0%A6%D0%9A_%D0%A0%D0%A6%D0%9A_2025.01.13.pdf (дата обращения: 10.11.2025).

© Иванова У.В., 2025

Р.М. ИШМУРАТОВА, Ш.Р. ЕРМАКОВА, Д.С. САБИТОВА
ralinaishwork@gmail.com

Науч. руководитель – канд. техн. наук, доцент Л.Р. САЯПОВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР НА ХИРУРГИЧЕСКИЙ ЛАЗЕРНЫЙ АППАРАТ

Аннотация: лазерные аппараты нашли широкое применение в медицине как эффективные методы лечения. Благодаря разным диапазоном длины волн излучения они находят применение в диагностике, терапии, а также в хирургии. В данной статье будут рассмотрены лазерные устройства, которые применяются преимущественно в хирургии.

Ключевые слова: лазерный аппарат, хирургия, диодный лазер, лазер с накачкой.

Первый в мире лазер появился в 1960 году в стенах американской лаборатории «Bell Labs». Основой для этого изобретения послужила идея, выдвинутая еще в 1954 году физиком Чарльзом Х. Бардином и его коллегами. Они обнаружили следующий эффект: если направить свет через особое вещество, находящееся в состоянии высокой энергии, то этот свет можно усилить настолько, что он превратится в интенсивный видимый луч.

В зависимости от области применения используются различные типы лазера, а именно: газовые (используются смесь газов), твердотельные (применяются кристаллы), полупроводниковые (используются полупроводниковые материалы), химические (используется химическая реакция), лазеры с накачкой (свет создается путем накачки лазерного материала), импульсные.

Основу данного аппарата составляет лазер типа Nd:YAG, в котором активной средой служат ионы неодима, легированные в алюмоиттриевый гранат. Генерируемое излучение находится в диапазоне длин волн 0,45–1,06 мкм. Благодаря этому обеспечивается значительная глубина воздействия на биологические ткани (4–6 мм), а также достигается сбалансированность поглощения энергии основными хромофорами – водой, гемоглобином и меланином. Указанный баланс делает устройство универсальным инструментом, пригодным как для иссечения и коагуляции мягких тканей, так и для лечения сосудистых патологий и проведения силовой лазеротерапии.

Модель «Лазермед-10» функционирует в двух режимах: импульсном и непрерывном. В основе его работы лежит принцип селективного фототермолиза – технологии, предполагающей преобразование лазерной энергии в тепловую для целенаправленного воздействия на кожные покровы.

Конструктивно устройство состоит из электронного блока, выполненного в настольном исполнении с пультом управления, и компактного лазерного

излучателя. Лазерный блок, имеющий эргономичную форму, похожую на пистолет, является автономным модулем.

Для подвода излучения к зоне обработки применяются сменные насадки. Это позволяет использовать два различных метода: традиционную подачу через гибкий световод, характерную для большинства полупроводниковых лазеров, либо оригинальный (бессветоводный) способ, при котором луч направляется непосредственно через фокусирующую линзу, встроенную в блок.

Структурная схема лазерного аппарата представлена на рисунке 1.

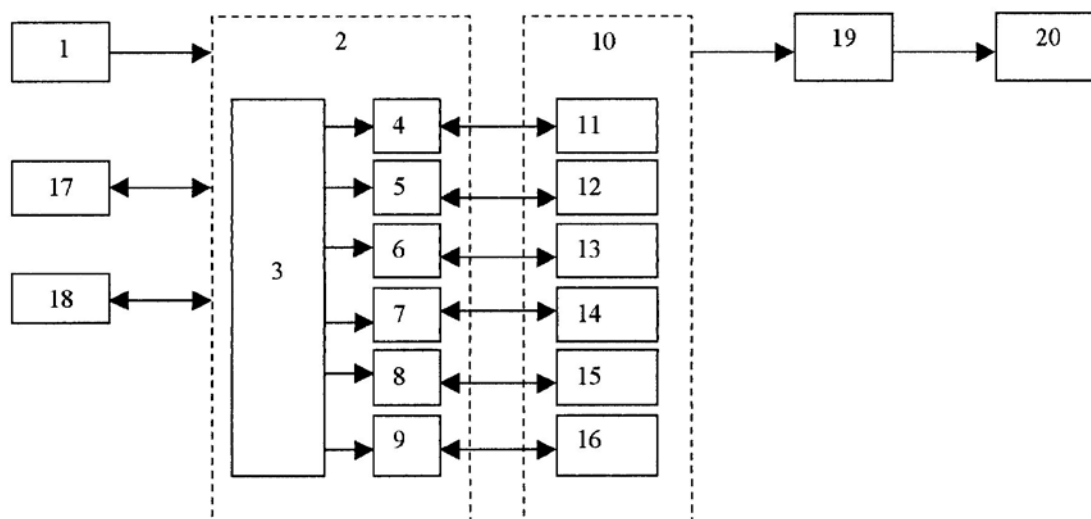


Рис. 3. Структурная схема

Конструкция устройства включает блок питания 1, соединенный с микропроцессорным блоком управления 2. Данный блок содержит формирователь сигналов 3 и драйверы 4–9, к нему же присоединен оптический модуль 10, оснащенный полупроводниковыми лазерными излучателями 11–16. В роли последних могут применяться одиночные диоды, их матрицы или лазерные системы с диодной накачкой, генерирующие излучение на разных длинах волн.

Функционирование аппарата регулируется посредством блока управления 17, а его рабочие параметры отображаются на блоке индикации 18. Световое излучение от всех лазерных источников объединяется в единый пучок с помощью волоконно-оптического преобразователя 19 и подается на выходной порт. К этому порту подключается сменный инструмент 20 со световодом диаметром 200–400 микрон.

Данный сменный волоконно-оптический инструмент дает возможность проводить облучение и удаление тканей различными методами: дистанционным (бесконтактным), контактным, эндоскопическим и интероперационным.

Полупроводниковые лазерные диоды генерируют излучение в следующих спектральных диапазонах: 510–580 нм, 625–695 нм, 780–950 нм и 960–1060 нм, что охватывает видимую и инфракрасную области спектра. Микропроцессорный блок управления, построенный на основе серийного микропроцессора,

поддерживает три режима работы: непрерывный, квазинепрерывный и импульсный.

В качестве аналогов были рассмотрены российские модели «Латус-К» и «Медиола Компакт», представленные в таблице 1.

Таблица 3

Сравнительный анализ хирургических лазерных аппаратов

Параметр	«Лазермед-10»	«Латус-К»	«Медиола Компакт»
Тип лазера	Nd:YAG	Nd:YAG / Ho:YAG / Эрбиевый волоконный	Диодный лазер (полупроводниковый)
Длины волн	1.06 мкм–0.53 мкм	1.06 мкм–2.09 мкм, Ho:YAG ~ 1.6 мкм	0.81 мкм, 0.97 мкм, 1.47 мкм (зависит от модели)
Область применения	Общая хирургия	Узконаправленная и общая хирургия	Узконаправленная хирургия, косметология и флебология
Стоимость	4,5–5,5 млн, замена лампы накачки 40–70 тыс., энергопотребление ниже, чем у аналогов	От 6 млн, замена лампы накачки от 50 тыс.	Базовая модель от 2,5 млн, замена лампы накачки от 40 тыс.

Таким образом, выгоднее приобрести лазерное устройство «Лазермед-10», т.к. он имеет больший диапазон длин волн излучения, что расширяет область его применения.

Заключение

Хирургический лазерный аппарат «Лазермед-10» представляет собой современное, универсальное и технологичное решение для оснащения стационарных и амбулаторных учреждений. Его главное преимущество – наличие двух хирургических длин волн в одном устройстве, что расширяет его функциональность по сравнению с приведенными аналогами, а также дает возможность применения данного аппарата в узкоспециализированных областях, например, в дерматологии, косметологии, флебологии и т.п.

Библиографический список

1. Лазеры, виды, свойства и применение [Электронный ресурс] / URL: <https://m-focus.ru/lazery-vidy-svoystva-i-primenenie/> (Дата обращения 29.10.2025)
2. Регистрационное удостоверение № РЗН 2014/2111 от 31.05.2023 на медицинское изделие «Аппарат лазерный медицинский полупроводниковый «Лазермед-10»»

3. Лазерный хирургический аппарат Лазермед-10 [Электронный ресурс] / URL: https://vendem.ru/catalog/khirurgiya/khirurgicheskie_lazery/lazarmed_10/#desc (Дата обращения 29.10.2025)
4. Багдасарьян, Х.С. Медицинские лазеры: устройство и применение: учебное пособие. – М.: Медицинская книга, 2018. – 304 с.
5. Латус-К Лазерный медицинский аппарат, Аткус [Электронный ресурс] / URL: <https://ivlabmed.ru/products/lazernyy-meditsinskiy-apparat-latus-k-atkus/> (Дата обращения 30.10.2025)
6. «Медлазерсистемы»: Медицинские лазерные аппараты. [Электронный ресурс] / URL: <https://med-lazer.ru/catalog/mediola-compact> (Дата обращения 1.11.2025)
7. Патент №14011 U1 Российская Федерация, МПК А61N 5/06. ЛАЗЕРНОЕ МЕДИЦИНСКОЕ УСТРОЙСТВО: №2000105614/20, заявл. 2000.03.13: опубл. 27.06.2000 / Кочетков Михаил Анатольевич
8. Регистрационное удостоверение № ФСР 2011/10169 от 24.02.2011 на медицинское изделие «Аппарат лазерный медицинский ЛАТУС-К»
9. Регистрационное удостоверение № ФСЗ 2011/0996 от 10.06.2014 на медицинское изделие «Аппарат лазерный медицинский «МЕДИОЛА-КОМПАКТ»»

© Ишмуратова Р.М., Ермакова Ш.Р., Сабитова Д.С., 2025

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ И ФОРМИРОВАНИЯ РЕКОМЕНДАЦИЙ

Аннотация: в статье рассматривается применение нейронных сетей для классификации изображений продуктов питания и формирования персонализированных рекомендаций в области нутрициологии. Представлены результаты экспериментов по обучению модели на региональных базах данных, формируются перспективы внедрения интеллектуальных систем в нутрициологические сервисы.

Ключевые слова: нейронные сети, региональные базы данных, нутрициология, распознавание блюд, датасеты.

Современные подходы к оценке пищевого рациона основываются на анализе нутриентного состава продуктов и индивидуальных предпочтений потребителей. Традиционные методы оценки рациона зачастую требуют значительных временных затрат и экспертного вмешательства. Соответственно, использование нейронных сетей позволяет автоматизировать процессы классификации изображений продуктов питания и персонализированного подбора рациона, что делает систему более доступной и точной. В данной работе исследуется применение глубокого обучения с акцентом на классификацию изображений ингредиентов и генерацию рекомендаций.

В первую очередь необходимо рассмотреть процесс анализа изображений. Сначала отображение преобразуется в матрицу пикселей, где каждый пиксель имеет числовое значение (обычно в RGB-формате). Затем матрица проходит через несколько сверточных слоев, где фильтры (ядра свертки) «сканируют» изображение, выделяя ключевые особенности – края, контуры, текстуры и цветовые переходы. После слоев свертки идут слои активации (чаще всего ReLU) и подвыборки, уменьшающие размерность данных и повышающие устойчивость к шуму. Итоговые признаки передаются в полносвязные слои, где происходит окончательная классификация изображения – например, определение категории блюда. Сеть обучается на размеченных данных, минимизируя ошибку распознавания с помощью метода обратного распространения ошибки.

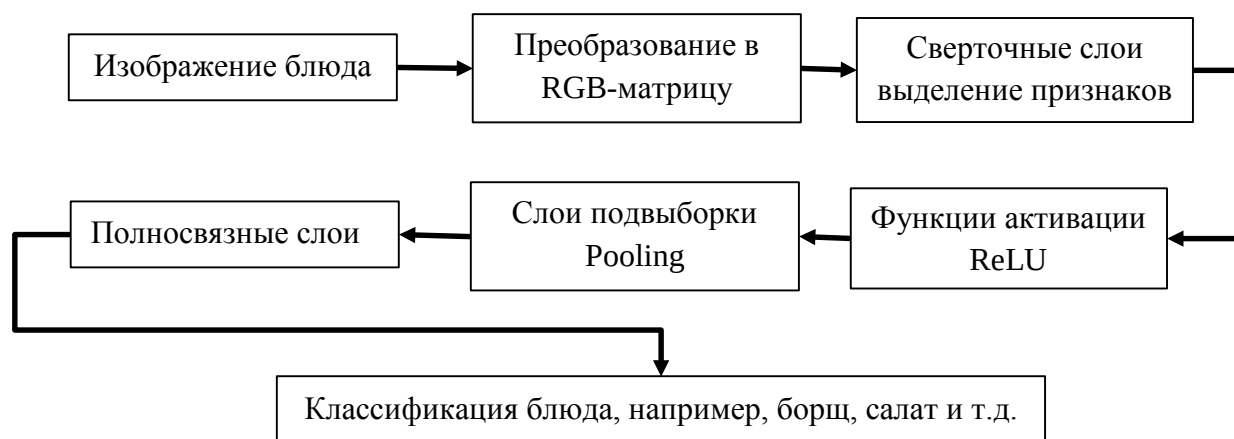


Рис. 4. Схематичное изображение классификации продуктов питания с использованием нейронных сетей

В настоящее время для классификации продуктов питания преимущественно используются сверточные нейронные сети (CNN), которые широко применяются для обработки визуальных данных [1] (в контексте нутрициологии такого рода сети могут использоваться для автоматического распознавания блюд и отдельных ингредиентов по их изображениям, обучение моделей проводится на размеченных датасетах, содержащих изображения блюд с соответствующими метками, среди популярных архитектур для этой задачи можно выделить ResNet, EfficientNet и MobileNet, обеспечивающие высокую точность классификации);

Кроме того, для ускорения процесса обучения и повышения качества классификации используются предобученные модели, такие, например, как VGG16, Inception-v3, MobileNet и EfficientNet, предварительно обученные на больших наборах изображений, что позволяет использовать их как универсальные экстракторы признаков. После этого модели можно дообучить на специализированных нутрициологических датасетах, включающих изображения блюд, характерных для определённого региона. Таким образом достигается адаптация модели к культурным и гастрономическим особенностям.

Для формирования персонализированных рекомендаций на основе нейронных сетей используются рекуррентные нейронные сети (RNN) и их модификации (LSTM, GRU), которые позволяют анализировать последовательности потребления продуктов и прогнозировать будущие предпочтения пользователей. Такие модели могут использоваться для создания персонализированных рекомендаций, учитывающих индивидуальные потребности организма, медицинские показатели и предпочтения пользователя.

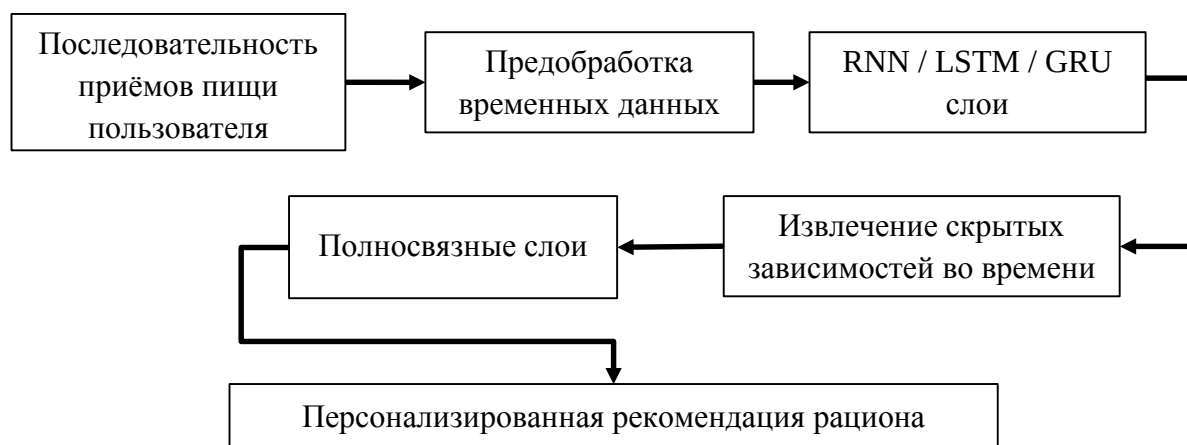


Рис. 5. Схематичное изображение создания персонализированных рекомендаций на основе нейронных сетей

Механизм работы RNN заключается в том, что каждый следующий шаг сети получает не только входные данные текущего шага, но и скрытое состояние предыдущего, что позволяет сохранять «память» о предыдущих событиях. Модификации LSTM и GRU решают проблему затухающего градиента, позволяя модели запоминать зависимости на длинных интервалах времени. Это особенно полезно в задачах предсказания привычек питания, где могут проявляться недельные или месячные циклы предпочтений.

На практике такие модели могут использоваться для выявления отклонений [4, с. 26], например, от сбалансированного питания, формирования прогнозов по нутриентной нагрузке на основе предыдущих дней, а также для персонализации рекомендаций с учетом хроники пользователя (например, диабета, аллергий, ЖКТ-заболеваний). Кроме того, RNN-модели можно интегрировать с внешними источниками данных – календарем, геолокацией, данными носимых устройств, что повысит точность и адаптивность рекомендаций [2, с. 133].

В рекомендательных системах также широко применяются методы коллаборативной фильтрации [3, с. 88], позволяющие предлагать продукты и блюда на основе схожести предпочтений различных пользователей. Чаще всего используется комбинированный подход, сочетающий коллаборативную фильтрацию с предсказательной мощностью нейронных сетей, что позволяет учитывать, как нутриентный состав продуктов, так и личные предпочтения пользователей.

Эксперименты показали, что сверточные нейронные сети (CNN) эффективно распознают изображения пищи с точностью до 98% [1, с. 24]. Рекуррентные нейронные сети (RNN) также успешно прогнозируют предпочтения пользователей, достигая точности рекомендаций до 88% [5]. Наиболее точные результаты демонстрирует гибридный метод, который объединяет коллаборативную фильтрацию и предсказательное моделирование.

Таким образом, нейронные сети открывают новые перспективы для автоматизации анализа пищевого рациона и предоставления персонализированных рекомендаций в нутрициологии. Разработанные алгоритмы значительно повышают точность классификации продуктов питания и прогнозирования пищевых предпочтений. Системы на базе нейросетей могут учитывать индивидуальные особенности пользователей, адаптироваться к изменениям и давать обоснованные рекомендации. В дальнейшем планируется интеграция таких систем с медицинскими услугами, фитнес-платформами и устройствами для мониторинга здоровья.

Библиографический список

1. Данг Т.Ф.Т., Юрченко А.В., Динь В.Т., Ляшенко Д.А., Нгуен Т.К. Применение сверточной нейронной сети для распознавания фруктов // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 7. С. 24-29.
2. Ишмеева, А. С. Некоторые аспекты защиты пациентов медицинских учреждений при пожаре / А. С. Ишмеева, З. И. Харисова // Государство, общество, личность: история и современность: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. – С. 132-135.
3. Модель предметно-ориентированной системы профайлинга на основе объяснимого искусственного интеллекта / В. В. Антонов, Л. Е. Родионова, З. И. Харисова, Г. Г. Куликов // Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации : сборник докладов II Всероссийской научной конференции. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2020. С. 84-91.
4. Харисова, З. И. Искусственный интеллект в государственном управлении / З. И. Харисова, О. А. Филиппов, Д. А. Федоров // Информационные технологии интеллектуальной поддержки принятия решений (ITTDS'2020): Труды VIII Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых). Том 1. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. – С. 26-29.
5. Statistical Analysis on E-Commerce Reviews, with Sentiment Classification using Bidirectional Recurrent Neural Network by Abien Fred M. Agarap. URL: <https://arxiv.org/pdf/1805.03687> (дата обращения: 11.05.2025).

© Кирилов М.С., 2025

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЦИОНА ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация: в данной статье представлен обзор современных интеллектуальных систем, предназначенных для анализа и оценки рациона питания. Описаны существующие программные решения и приложения, их архитектуры, функциональные возможности и ограничения. Особое внимание уделено применению региональных баз данных, персонализации рекомендаций и интеграции с медицинскими и фитнес-платформами.

Ключевые слова: рацион питания, интеллектуальные системы, здоровый образ жизни, классификация, машинное обучение, искусственный интеллект.

Рацион питания играет ключевую роль в поддержании здоровья человека. Неправильное или несбалансированное питание может привести к развитию множества хронических заболеваний, включая ожирение, диабет 2 типа, сердечно-сосудистые заболевания и метаболический синдром. В условиях роста глобальной обеспокоенности здоровьем, повышенного интереса к персонализированному подходу в медицине и популяризации здорового образа жизни (далее - ЗОЖ), вопросы оценки пищевого рациона становятся особенно актуальными.

Современные информационные технологии и достижения в области искусственного интеллекта (далее - ИИ) позволяют автоматизировать процессы анализа и интерпретации пищевого поведения. Появляются интеллектуальные системы, способные не только фиксировать приёмы пищи, но и классифицировать продукты, оценивать нутриентную ценность рациона, формировать персонализированные рекомендации, учитывать медицинские показания и цели пользователя (например, похудение, набор массы тела, стабилизация сахара в крови и пр.).

Такие системы используют различные методы ИИ, включая компьютерное зрение, анализ временных рядов, обработку естественного языка (NLP), коллаборативную фильтрацию и модели пользовательского поведения. Некоторые решения также интегрируются с носимыми устройствами и биосенсорами, что открывает возможности для построения замкнутых циклов мониторинга и обратной связи в режиме реального времени.

Для классификации интеллектуальных систем оценки рациона питания используют разные метрики, такие как «тип используемых данных», «архитектура системы», «полнота», «прецизионность» и др.

Классификация интеллектуальных систем оценки рациона по типу используемых данных может быть проведена по следующим основаниям:

графические изображения продуктового набора (используются в системах, применяющих сверточные нейронные сети (CNN), MobileNet, ResNet и EfficientNet и пр., которые позволяют распознавать блюда, оценивать размер порций и автоматически определять пищевую ценность, основываясь на обученных моделях);

текстовое описание продуктового набора (используются методы обработки естественного языка (NLP), включая алгоритмы Word2Vec, GloVe, BERT и пр., согласно которым пользователь может вводить названия блюд вручную, с помощью голосового ввода или сканера штрих-кодов, при этом модель анализирует введенный текст, связывает его с базой данных продуктов и рассчитывает пищевую ценность);

история рациона питания (представлена в виде временных рядов, позволяющих отслеживать динамику потребления калорий, макро- и микронутриентов, применяются в рекуррентных сетях (RNN, LSTM), которые помогают выявлять привычки и паттерны пищевого поведения);

биомедицинские данные (включают уровень глюкозы, артериальное давление, физическую активность, вес, пульс и другие параметры, поступающие с носимых устройств и медицинских систем и используются для персонализации рациона и оценки эффективности выбранных пищевых стратегий).

Классификация интеллектуальных систем оценки рациона по архитектуре может быть проведена по видам интегрирующих устройств:

мобильные приложения (удобны для повседневного использования, включают функционал отслеживания рациона питания, распознавания блюд, подсчета калорий, составления диет и могут работать автономно или синхронизироваться с облаком);

веб-платформы (чаще применяются в профессиональных целях, например, диетологами, и обладают расширенным интерфейсом, возможностью загрузки и анализа больших объемов данных и пр.);

интегрированные IoT-системы (включают взаимодействие с устройствами, такими как умные весы, кухонные приборы, датчики холодильников и пр. и позволяют автоматически учитывать потребление продуктов);

облачные аналитические платформы (поддерживают масштабируемую обработку данных, обучение моделей и хранение информации и предназначены как для конечных пользователей, так и для разработчиков интеллектуальных решений, часто используют API-интерфейсы для интеграции с мобильными и веб-приложениями [1]).

Так как в настоящее время все больше людей стараются придерживаться ЗОЖ и следить за своим питанием разработка приложений для оценки рациона питания выходит на новый уровень. Большинство разработчиков внедряют ИИ в

свои программные продукты с целью повышения точности и возможностей оценки рациона пользователями. Наиболее популярными приложениями для оценки рациона питания являются, например: «MyFitnessPal», осуществляющий ввод продуктов вручную или сканером штрих-кодов и обладающий функциями отслеживания прогресса, установки целей, рекомендаций по питанию и тренировкам, интеграции с внешними носимыми устройствами и фитнес-приложениями [2]; «Yazio» для составления персонализированных планов питания и отслеживания макро- и микронутриентов, с поддержкой функции составления меню, учета уровня физической активности и целей (снижение веса, набор массы и т.д. [3]; «Foodvisor», который использует сети CNN для анализа изображений еды и оценки калорийности [4]; «Bite.AI», представляющий из себя диалоговый интерфейс с возможностью обсуждения в стиле чат-бота, что упрощает взаимодействие и снижает барьер входа для пользователей [5]; «HealthifyMe», ориентированный на азиатские рынки, но поддерживающий множество региональных кухонь и имеющий функцию виртуального ассистента, основанного на ИИ для персонализации [6].

Сравнительный анализ приложений для оценки рациона питания по ключевым характеристикам приведен в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная таблица интеллектуальных систем оценки питания

№	Система	Тип данных	Методы ИИ	Ключевые функции	Особенности
	MyFitnessPal	Текст, штрих-код	Коллаборативная фильтрация	Подсчёт калорий, цели, трекер веса	Большая база продуктов, интеграция с Fitbit
	Yazio	Текст	DNN, правила принятия решений	Персонализированные диеты, нутриенты	Учёт физической активности
	Foodvisor	Изображения	CNN (ResNet, MobileNet)	Автоопределение состава блюда и порции	Фото-анализ, распознавание ингредиентов
	Bite.AI	Текст, голос	NLP, chatbot, hybrid systems	Диалоговый ИИ-помощник, рекомендации	Голосовой интерфейс, обучение на предпочтениях

Продолжение табл 1.

	HealthifyMe	Текст, голос	RNN, NLP, аналитика поведения	Личный ИИ-ассистент, индийская кухня	Ориентировано на региональные блюда
	Eat This Much	Текст, цели пользователя	Алгоритмическая генерация меню	Автоматическое составление рациона	Фокус на бюджете и предпочтениях пользователя
	Nutritionix Track	Текст, штрих-коды	ML, NLP	Быстрый ввод, голосовой поиск	Обширная база, поддержка внешних устройств
	FatSecret	Текст, фото	ML, анализ изображений	Дневник питания, счётчик калорий	Социальная составляющая, рецепты и советы
	Lifesum	Текст, сканеры штрих-кодов	DNN, анализ поведения	Диеты, советы по ЗОЖ, интеграция с Apple Health	Фокус на визуализации и UX
0	Cronometer	Текст, ручной ввод	NLP, статистика	Подробный нутриентный анализ, отчёты	Используется в исследованиях и медицинской практике

Таким образом, в описанных системах применяется множество интеллектуальных алгоритмов, разработанных для решения конкретных задач. Эти алгоритмы помогают классифицировать изображения, формировать рекомендации для пользователей, анализировать тексты и отслеживать поведение пользователя в зависимости от заданных параметров, в частности: при классификации изображений используются сверточные нейронные сети (например, ResNet и EfficientNet), которые были обучены на наборах данных с аннотированными изображениями еды; для формирования рекомендаций применяются коллаборативная фильтрация, глубокие нейронные сети (DNN) и гибридные рекомендательные системы, которые учитывают поведение пользователя, его цели и биомаркеры; для распознавания и интерпретации описаний продуктов, введенных пользователями, используются NLP-модели, такие как Word2Vec и BERT и пр.; для анализ времени и поведения

используются алгоритмы LSTM, GRU и механизмы, способные выявлять повторяющиеся паттерны, нарушения пищевого режима, прогнозировать будущие потребности и составлять напоминания.

Для удобства пользователей зачастую в подобных системах предусматривают интеграцию с внешними сервисами, например, поддержка платформ Google Fit, Apple Health, Fitbit API обеспечивает автоматическую синхронизацию физической активности и биометрии, интеграция с электронными медицинскими картами позволяет учитывать медицинские рекомендации, противопоказания и историю заболеваний.

Отдельно стоит отметить использование региональных баз данных продуктов, например, в Российской Федерации – это наборы данных, подготовленные ФГБУ «ФИЦ питания и биотехнологии». Они позволяют адаптировать информацию о нутриентах и рекомендации под доступные пользователю продукты с учетом региональных кулинарных традиций.

Несмотря на активное развитие интеллектуальных систем оценки рациона, остаётся ряд серьёзных проблем и вызовов, например, таких как:

- неточность распознавания изображений, когда алгоритмы компьютерного зрения могут ошибаться при определении типа блюда или размера порции, особенно при сложных композициях, необычных ракурсах или низком качестве изображения;

- ограниченность баз данных, что обусловлено тем, что большинство решений ориентированы на западные кухни и плохо адаптированы к региональным особенностям питания, что затрудняет использование в других культурах;

- трудоёмкость ввода данных;

- сложности в обеспечении безопасности персональных данных;

- необходимость интеграции с медициной (несмотря на перспективность, такие системы редко используются врачами, так как отсутствуют стандарты верификации рекомендаций и юридическая ответственность за возможные последствия).

Таким образом, интеллектуальные системы оценки рациона питания становятся важным элементом цифровой экосистемы здоровья. Их развитие открывает широкие перспективы для персонализированного подхода в питании, профилактики заболеваний и формирования устойчивых пищевых привычек. Несмотря на существующие ограничения и вызовы, активное внедрение систем на основе ИИ, развитие баз данных, в том числе региональных, улучшение взаимодействия с пользователем и соблюдение стандартов безопасности данных позволяют рассчитывать на широкое применение таких решений в медицине, спорте и повседневной жизни в ближайшие годы.

Библиографический список

1. Картер Д. Облачные технологии: практическое руководство по созданию инновационных приложений / пер. с англ. – М.: Вильямс, 2020. – 416 с.
2. MyFitnessPal: база данных продуктов USDA и интеграция с носимыми устройствами [Электронный ресурс]. URL: <https://www.myfitnesspal.com> (дата обращения: 10.04.2025).
3. Yazio: персонализированные планы питания и учет физической активности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yazio.com> (дата обращения: 10.04.2025).
4. Foodvisor: применение сверточных нейронных сетей для анализа изображений еды [Электронный ресурс]. URL: <https://www.foodvisor.io> (дата обращения: 10.04.2025).
5. Bite.AI: голосовой ввод и рекомендации на основе ИИ [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bite.ai> (дата обращения: 10.04.2025).
6. HealthifyMe: виртуальный ассистент Ria для азиатских рынков [Электронный ресурс]. URL: <https://www.healthifyme.com> (дата обращения: 10.04.2025).

© Кирилов М.С., 2025

И.М. КУДАЯРОВ

kudayarov-ilnur@mail.ru

Науч. руковод. – ст. препод. кафедры БМИ Э.Ю. АБДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ КОАГУЛОМЕТРА

Аннотация: коагулометр позволяет определить время образования сгустка крови, скорость возникновения тромбов, а также используется для контроля эффективности антикоагулянтной терапии.

Ключевые слова: коагулометр, гемостаз, свертывание, сгусток

В настоящее время для диагностики нарушений гемостаза все большее распространение приобретают приборы, автоматически регистрирующие время образования сгустка фибрина в тестируемой смеси. Эти приборы называют коагулометрами, они заметно облегчают труд лаборанта, устраняют элементы субъективности при выполнении коагуляционных диагностической лаборатории [1].

Коагуляция (лат. *coagulatio* – свертывание, сгущение) объединение мелких диспергированных частиц в большие по размеру агрегаты. Характерные признаки: увеличение мутности (интенсивность рассеивания света), появление хлопьевидных образований – флоккул, расслоение исходно-устойчивой к седиментации системы с выделением дисперсной фазы в виде коагулята.

Система свертывания (коагуляции, гемостаза) – биологическая система, основная функция которой заключается в сохранении жидкого состояния циркулирующей крови, купировании и предупреждении кровотечений. Гемостаз представляет собой последовательность сложных реакций, направленных на остановку кровотечения при повреждении сосуда. До недавнего времени решающее значение в осуществлении гемостаза придавали плазменной системе свертывания крови. Однако, на повреждение сосудов первыми реагируют сами сосуды (спазм, открытие шунтов выше места повреждения) и клетки крови (тромбоциты и эритроциты). Именно тромбоцитам, а не свертыванию крови, принадлежит ведущая роль в первичной остановке кровотечений из микрососудов, наиболее ранимых и чаще всего бывающих источником геморрагий. Таким образом, можно выделить первичный гемостаз – тромбоцитарнососудистую реакцию и вторичный гемостаз – свертывание крови.

Большинство факторов свертывания крови представляют собой белки или гликопротеиды, которые синтезируются в клетках печени, и после выхода в кровяное русло при условии интактности сосудистой стенки циркулируют в нем в неактивном состоянии. Соприкосновение факторов свертывания с инородной поверхностью (поврежденными тканями сосудов) служит пусковым механизмом

для их активации. Формируется проферментно-ферментный каскад, в котором проферменты, переходя в активное состояние, способны активировать другие факторы свертывания [3].

Известно два метода фиксации момента коагуляции: механический и оптический. За длительность коагуляции исследуемой пробы принимается промежуток времени с момента введения в пробу реагента до момента резкого изменения оптической плотности. На запрограммированную величину. Начальное уменьшение оптической плотности (добавление реагента), а затем увеличение, фиксируется оптоэлектронным датчиком. Оптический способ фиксации сгустка используется при работе с сильно разведёнными образцами и в тесах, требующих построения калибровочных кривых на основе разведений контрольной плазмы [2].

Коагулометры подразделяются на полуавтоматические и автоматические. Полуавтоматические коагулометры различают по методу регистрации сгустка: механические, оптические и совмещенные. При механическом методе регистрации сгустка используется шарик, который при добавлении в кювету начинает движение относительно кюветы. При образовании сгустка шарик прекращает движение относительно кюветы, что и регистрируют датчики прибора. При использовании оптического метода регистрации сгустка прибор фиксирует конечный результат по изменению оптических свойств реакционной смеси. Коагулометры с различными методами регистрации (оптические и механические), за некоторым исключением, не сильно отличаются друг от друга по точности и воспроизводимости регистрации образования сгустка в бедной тромбоцитами плазме, но значительно превосходят мануальные варианты (термобаня) исследования системы гемостаза. Существуют также различные принципы измерений полученных результатов: клоттинговый, (процентный, по конечной точке и кинетический), хромогенный (колориметрический), иммунологический (основанный на регистрации реакции антиген-антитело) [1].

В большинстве автоматических коагулометров применяется оптический метод регистрации сгустка. Оптический коагулометр представляет собой микропроцессорное фотометрическое устройство, имеющие четыре оптических канала, предназначенное определения коагулологических тестов (ПВ – протромбиновое время, АЧТВ – активированное частичное тромбопластиновое время, Фибриноген, Фактор - VIII, Фактор IX, Д-димер).

Фотометрический анализатор содержит измерительную ячейку, термостат, магнитную мешалку, таймер, дисплей. Встроенный термостат позволяет проводить инкубирование и предварительный подогрев до 37°C реагентов и плазмы. Датчик оптической системы фиксирует время образования сгустка В измерительной ячейке; таймер и дисплей представляют информацию о процессе в секундах. Работа на приборе сопровождается звуковой сигнализацией [1].

Необходимость разработки коагулометра обусловлена нехваткой отечественных аналогов в данном сегменте рынка. К тому же, зарубежные коагулометры значительно дороже и работа с прибором подразумевает

постоянную закупку расходных материалов у производителей. Следует упомянуть инициативу правительства РФ на запрет закупки импортного медицинского оборудования и расходных материалов. Достоинством данного прибора является широкий спектр проводимых анализов.

Разработанная структурная схема представлена на рисунке 1.

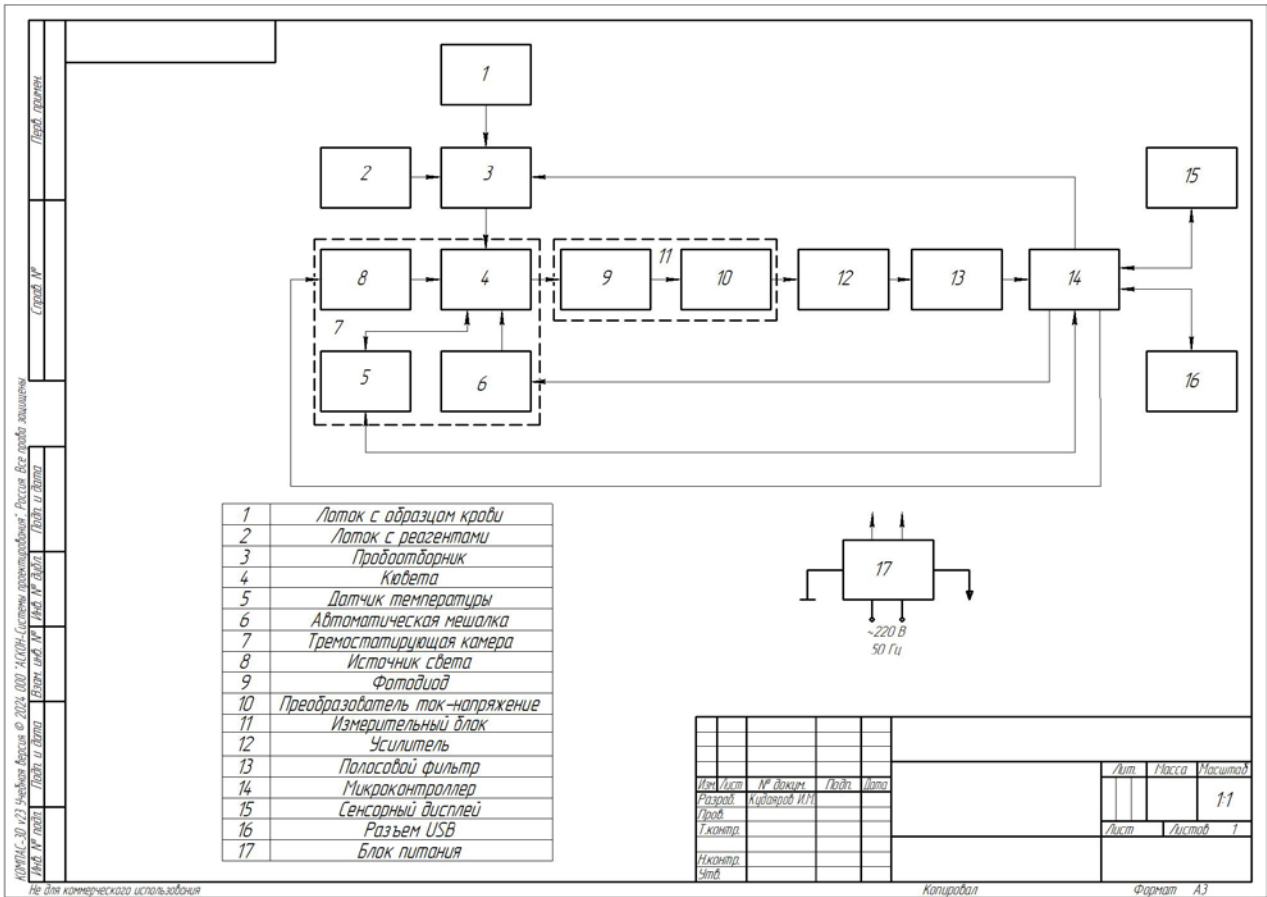


Рис. 1. Структурная схема коагулометра

Разработанный прибор работает следующим образом: при включении блока питания, который преобразует сетевое напряжение, начинает функционировать микроконтроллер.

Подается сигнал от микроконтроллера на пробоотборник, который делает забор из лотка с пробой кровью и от лотка с реагентами и заполняет кювету. По сигналу от микроконтроллера срабатывает автоматизированная мешалка для смешивания пробы крови с реагентами и происходит реакция коагуляции. Также к кювете подключен датчик температуры, который непрерывно измеряет температуру в термостатирующей камере и передает данные в микроконтроллер. Кювета, датчик температуры и мешалка находятся в термостатирующей камере, которая поддерживает стабильную температуру для протекания биохимической реакции.

Свет, исходящий от источника света, проходит через кювету и попадает на фотодиод, который преобразует интенсивность прошедшего через кювету светового потока в электрический ток. Преобразователь ток – напряжение

преобразует очень слабый ток с фотодиода в более удобное для обработки напряжение. Фотодиод и преобразователь находятся в измерительном блоке, так как они должны максимально близко расположены друг к другу для точного, помехозащищенного и стабильного измерения интенсивности света.

Усилитель увеличивает амплитуду сигнала (напряжения) с преобразователя. Далее сигнал фильтруется и поступает на микроконтроллер, в котором он обрабатывается и происходит расчет результатов измерений, они, в свою очередь, отображаются на дисплее. С помощью сенсорной панели дисплея происходит управление устройством, а при помощи разъема USB прибор может быть подключен к персональному компьютеру для обновления программного обеспечения, а также для сохранения и загрузки результатов.

Данный прибор представляет собой автоматический фотометрический коагулометр. Его работа основана на принципе измерения изменения оптической плотности плазмы крови в процессе образования сгустка фибрина. Все этапы анализа от дозирования и термостатирования до измерения и обработки сигнала автоматизированы и управляются единым микроконтроллером, что обеспечивает высокую точность и воспроизводимость результатов.

Библиографический список

1. Лиэнн Ф. Харрис, Ванесса Кастро-Лопес, Энтони Дж. Киллард. Устройства для мониторинга свертываемости крови: прошлое, настоящее и будущее в месте оказания медицинской помощи//Тенденции TrAC в аналитической химии. – 2013. – Том 50. – С. 85-96.

2. Оуэн Гиббс. Измерение времени свертывания крови//Журнал физиологии. – 1995. – № 59. – 425 стр.

3.Бережнов Н.И. Богуш Н.Л. Патофизиология системы гемостаза. [Электронный ресурс] URL.: https://rsmu.ru/fileadmin/templates/DOC/Faculties/LF/pathophysiology/PF_sistemy_gemostaza.pdf (дата обращения: 9.11.2025)

© Кудаяров И.М., 2025

Р.А. КУДРЯШОВА

kudryashovareginochka@yandex.ru

Науч. руковод. – ассистент каф. БМИ, К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

СКАЛЬПЕЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОД ПЛОДА

Аннотация: на сегодняшний день мониторинг состояния плода во время родов остается критически важной задачей, от точности которой зависит здоровье матери и ребенка. Существующие методы, такие как кардиотокография или забор крови из кожи головы плода, не всегда обеспечивают достаточную информативность и могут быть инвазивными, вызывая дискомфорт или риск осложнений.

Ключевые слова: скальпельный электрод, плод.

Введение

Целями статьи являются оценка эффективности скальп-электродов нового поколения как альтернативы традиционным методам, таким как кардиотокография и забор крови, а также демонстрация преимуществ технологии, включая повышение достоверности сигналов и снижение числа ложных диагнозов.

Основными задачами являются описание принципа работы и конструкции скальп-электрода, сравнение с предыдущими поколениями и традиционными методами, анализ клинической эффективности, указание на существующие ограничения и вызовы.

Скальп-электрод плода представляет собой современный диагностический инструмент, позволяющий непрерывно и с высокой точностью регистрировать ключевые физиологические параметры, такие как сердечный ритм плода и кислотно-щелочной баланс крови. Этот метод сочетает минимальную инвазивность с высокой надежностью, что делает его незаменимым в сложных акушерских ситуациях. В отличие от традиционных подходов, он обеспечивает прямую регистрацию сигналов, минимизируя погрешности, связанные с подвижностью матери или положением плода [2].

Основная часть

История развития методов мониторинга плода началась с аускультации стетоскопом в XIX веке, однако революционным шагом стало внедрение электронных систем в середине XX века. Первые попытки использовать электроды для фиксации сердечной активности плода были предприняты в 1960-х годах, но их применение ограничивалось сложностью фиксации и риском травматизации. Прорыв произошел с разработкой спиральных электродов в

1970-х, которые крепились к коже головы плода через раскрытую шейку матки, что значительно повысило точность данных.

Принцип действия скальп-электрода основан на регистрации электрических потенциалов, возникающих при сердечных сокращениях плода, а также заборе микропроб крови для анализа рН. Электрод, выполненный из биосовместимых материалов, фиксируется на коже головы плода, что обеспечивает стабильный сигнал даже при движении. По данным исследований, риск травматизации тканей плода при использовании спиральных электродов составляет менее 1% при правильной установке [7]. Однако в 3–5% случаев наблюдается временная потеря контакта из-за движений плода [5].

Современные модели оснащены защитным покрытием, снижающим риск инфицирования, и миниатюрными датчиками, что повышает безопасность и удобство использования.

Основное преимущество метода – сочетание диагностической и прогностической функций. Данные в реальном времени позволяют своевременно выявить гипоксию, оценить степень ацидоза и принять решение о тактике родоразрешения. Кроме того, конструкция электрода предусматривает модуль охлаждения, который предотвращает перегрев тканей при длительном использовании, что особенно важно в сложных клинических сценариях.

Внедрение электродов с цифровой фильтрацией сигнала сократило количество ложных диагнозов гипоксии на 25–30%, что уменьшило число необоснованных хирургических вмешательств [9].

Учитывая возрастающие требования к безопасности и эффективности акушерской помощи, разработка усовершенствованных скальп-электродов с многофункциональными датчиками представляет собой значительный шаг вперед. Это не только улучшает качество мониторинга, но и расширяет возможности для индивидуального подхода в ведении родов, снижая риски для матери и плода.

На данный момент широко распространены скальпельные электроды плода марки Valleylab [3] и Philips [4] в различных модификациях.

Патентный обзор

На сегодняшний день отсутствуют свежие публикации по данной тематике, что является свидетельством удобства и простоты данного устройства.

В данной работе анализировались следующие патенты [11, 12, 10]. Основными недостатками устройства авторы выделяют: защемление волосяного покрова и ткани скальпа плода, самопроизвольное вывинчивание скальп-электрода из-за шага винтового проволочного электрода, острые края электрода сравнения, которые могут оставаться даже после чистовой обработки, недостатки, связанные тем, что устройство не позволяет обеспечить четкое прослушивание сердцебиения плода.

Для дальнейшего повышения эффективности и безопасности применения скальп-электродов плода целесообразно рассмотреть несколько направлений оптимизации. Одним из перспективных решений может стать внедрение

автоматизированных систем стабилизации контакта, способных адаптироваться к движениям плода и поддерживать надежное считывание сигнала без необходимости повторной установки устройства. Это особенно важно при высокой подвижности ребенка в родовых путях, где традиционные системы могут терять контакт.

Дополнительно, интеграция искусственного интеллекта и алгоритмов машинного обучения в системы анализа ЭКГ-сигналов позволит проводить более точную и оперативную диагностику гипоксии и других критических состояний. Такие алгоритмы смогут в реальном времени обрабатывать данные, выявлять аномалии и давать рекомендации врачу, тем самым ускоряя принятие решений и снижая риск ошибок.

Заключение

Можно отметить, что применение скальп-электродов плода представляет собой важный шаг в развитии современных технологий перинатального мониторинга. Благодаря высокой точности регистрации физиологических параметров, способности работать в режиме реального времени, данный метод значительно повышает качество ведения родов и снижает риски для матери и ребенка. Несмотря на существующие технические и экономические ограничения, перспективы дальнейшей оптимизации – такие как автоматизация, внедрение искусственного интеллекта, миниатюризация и повышение биосовместимости – открывают широкие возможности для совершенствования данной технологии. В условиях роста требований к безопасности и эффективности акушерской помощи скальп-электроды могут занять ключевое место в арсенале интранатальных диагностических средств.

Библиографический список

1. Сидорова, И. С. Клиническая кардиотокография: диагностика и тактика ведения родов / И. С. Сидорова, И. О. Макаров. – Москва: МИА, 2017. – 256 с.
2. Иванов, А. В. Совершенствование методов интранатального мониторинга плода / А. В. Иванов, С. К. Петрова // Журнал акушерства и женских болезней. – 2020. – Т. 69, № 3. – С. 45–52.
3. Valleylab™ FT10 Electrosurgical Generator | Medtronic [электронный ресурс] / URL: <https://www.medtronic.com/en-us/healthcare-professionals/products/surgical-energy/electrosurgical-hardware/electrosurgical-generators-monitors/valleylab-ft10-electrosurgical-generator.html> (дата обращения: 05.11.2025).
4. Philips - Fetal Double Spiral Electrode Direct ECG [электронный ресурс] / URL: <https://www.usa.philips.com/healthcare/product/HC989803137641/fetal-double-spiral-electrode-direct-ecg> (дата обращения: 05.11.2025).
5. Шкляр А.Л., Свиридова Н.И. Интранатальная оценка состояния плода: передовая практика по диагностике, мониторингу и тактике (клинический

протокол) // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2023. – Т. 20, № 4. – С. 172–180.

6. Фаткуллина И.Б., Стеценко Н.А., Фаткуллина Ю.Н., Галеева С.А. Методы прогнозирования перинатальных исходов в современном акушерстве // Архив акушерства и гинекологии им. В.Ф. Снегирева. – 2021. – Т. 8, № 2. – С. 75–80.

7. Белоцерковцева Л.Д., Шерстюк Ю.А. Опыт внедрения скальп-лактат теста в работу Сургутского окружного клинического центра охраны материнства и детства // Вестник Сургутского государственного университета. – 2023. – Т. 16, № 3. – С. 32–41.

8. Приходько О.В., Шерстюк Ю.А., Белоцерковцева Л.Д. Верификация результатов пробы скальп-лактат при использовании портативного лактометра // Акушерство и гинекология. – 2022. – № 11. – С. 72–76.

9. Долидзе А.А., Кузнецова Е.В., Иванова Н.В. Современные методы оценки состояния плода в родах // Журнал акушерства и женских болезней. – 2022. – Т. 71, № 5. – С. 45–52.

10. Электродное устройство и скальп-электрод [электронный курс] / URL: <https://patents.google.com/patent/RU2011136259A/ru> (дата обращения: 05.11.2025).

11. Уразбахтина Ю. О. и др. Устройство для определения частоты сердечных сокращений плода: пат. 155665 Российская Федерация. – № 2014153958/14; заявл. 15.10.2015; опубл. 27.02.2016. – URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU155665U1_20151020 (дата обращения: 05.11.2025).

12. Электродное устройство и скальп-электрод [электронный курс] / URL: <https://patents.google.com/patent/RU2531646C2/ru> (дата обращения: 05.11.2025).

© Кудряшова Р.А., 2025

УДК 004.67

Н.П. МЕЛЬНИКОВ

nikita080602@yandex.ru

Науч. руковод. – доцент. З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ БОЛЬШИХ ДАННЫХ

Аннотация: статья исследует применение больших данных и машинного обучения в кардиологии, демонстрируя их превосходство над традиционными методами в прогнозировании сердечно-сосудистых заболеваний и персонализированной оценке рисков за счёт интеграции клинических, генетических и цифровых данных, что открывает новые возможности для ранней диагностики и индивидуализированной терапии в здравоохранении.

Ключевые слова: большие данные, машинное обучение, кардиология, прогнозирование рисков, персонализированная медицина, искусственный интеллект.

Инновационные методы анализа больших объемов данных трансформируют методы прогнозирования рисков развития сердечно-сосудистых заболеваний, обеспечивая высокую точность в диагностике и оценке вероятности возникновения болезни. Изучения подтверждают, что алгоритмы машинного обучения, например, логистическая регрессия, демонстрируют результаты с точностью до 93,44%, что значительно превосходит стандартные клинические методы диагностики. Сбор данных из разнообразных источников, в том числе электрокардиограммы, ультразвуковые исследования сердца, генетические маркеры и информацию от смарт-браслетов, позволяет формировать интегрированные системы прогнозирования, которые направлены на индивидуальный подход в кардиологии. Особое значение имеет использование таких технологий для предупреждения выявления высокорисковых групп и прогнозирования прогноза выживания пациентов, где модели показывают С-индекс до 0,729 для долгосрочных прогнозов.

Технологические платформы и инфраструктура

В наше время инновационные системы для обработки больших объемов данных в области кардиологии используют облачные технологии и распределенные методы обработки информации, что дает возможность анализировать огромные массивы медицинских данных в режиме онлайн. Эти платформы объединяют информацию из электронных медицинских карт, данные

лабораторных тестов, изображения, получаемые с помощью медицинской визуализации, данные с носимых устройств и факторы, влияющие на здоровье человека. Применение мультимодального подхода, включающего в себя ЭКГ, фонокардиограммы, эхокардиографию, холтеровское наблюдение и биомаркеры, обеспечивает высокую точность диагностики при обнаружении ишемической болезни сердца.

Сравнительный анализ эффективности моделей машинного обучения

Исследование, которое включает в себя пятиалгоритмный анализ для предсказания сердечно-сосудистых недугов, выявило значительные разбросы в результатах этих методов. Анализ, проведенный на базе данных Heart Disease UCI, включающей 14 характеристик и 303 наблюдения, подтвердил, что корректировка гиперпараметров и обработка признаков привела к заметному повышению точности прогнозирования. Логистическая регрессия показала лучшие результаты, с точностью в 93,44%, что на 2,64% превосходит показатели, достигнутые методом опорных векторов.

Таблица 1

Алгоритм машинного обучения	Точность (%)	Применимость	Вычислительная сложность
Логистическая регрессия	93,44	Высокая	Низкая
Метод опорных векторов (SVM)	91,80	Высокая	Средняя
Случайный лес	89,50*	Средняя	Высокая
Дерево решений	87,20*	Средняя	Низкая
К-ближайших соседей (KNN)	85,40*	Низкая	Средняя

Примечание: значения, отмеченные звездочкой, рассчитаны на основе типичных показателей эффективности для данных алгоритмов

Разработка специализированных прогностических моделей для определенных видов сердечно-сосудистых заболеваний демонстрирует еще более захватывающие результаты. Научные сотрудники Йельского университета создали прогностическую модель для оценки выживаемости пациентов с сердечной недостаточностью, используя данные от более чем 40 тысяч человек. Их метод, основанный на применении алгоритмов машинного обучения, значительно улучшил текущие клинические методы оценки состояния

пациентов и показал более точную предсказательную способность по сравнению с ранее разработанными моделями.

Ключевые факторы риска и их прогностическая значимость

Исследование ключевых атрибутов в рамках алгоритмов машинного обучения обнаружило ключевые элементы, определяющие предсказание риска развития сердечно-сосудистых осложнений. В ходе анализа данных от 13 362 пациентов, страдающих ишемической болезнью сердца, было выявлено, что возраст и уровень максимальной физической активности, измеренный в метаболических эквивалентах (METs), оказались наиболее важными прогностическими индикаторами смертности. Использование этих двух параметров позволило разработать прогностическую модель на длительный период с С-индексом 0,729, которая успешно классифицировала пациентов на 8 групп с разной вероятностью выживания.

Ключевые факторы риска

Таблица 2

Фактор риска	Прогностическая значимость (%)	Применимость в модели	Доступность данных
Возраст	95,2	Очень высокая	Повсеместная
Максимальная физическая нагрузка (METs)	92,8	Очень высокая	Специализированная
Артериальное давление	87,4	Высокая	Повсеместная
Уровень холестерина	84,6	Высокая	Широкая
Диабет	79,3	Высокая	Широкая
Курение	76,8	Средняя	Широкая
Семейный анамнез	74,2	Средняя	Ограниченная
ИМТ	71,5	Средняя	Широкая

Включение информации о геномах в прогностные модели кардиологии открывает новые перспективы для индивидуального подхода в лечении

сердечных заболеваний. Использование больших данных на молекулярном уровне дает возможность понять причины возникновения сердечных недугов и обнаружить новые возможности для разработки лекарственных средств. Совместное применение информации с портативных устройств, геномных исследований и социальных факторов влияния на здоровье продемонстрировало свою высокую эффективность в идентификации людей, склонных к развитию предсердной фибрилляции.

Модели прогнозирования выживаемости и долгосрочных исходов

Прогностические модели на основе больших данных превосходят традиционные методы. Модель Йельского университета прогнозирует исходы через год после диагноза и распределяет пациентов на 4 клинически значимые группы по реакции на терапию.

Исследование с применением дерева выживания (13 362 пациента, средний период наблюдения – 8 лет) показало, что основной узел разделения – максимальные METs ($\leq 6,15$ vs $> 6,15$), с дальнейшей стратификацией по возрасту.

Сравнительная эффективность прогностических моделей

Таблица 3

Временной период	Выживаемость без использования модели (%)	Выживаемость с использованием модели (%)	Улучшение прогноза (%)
3 года	76,1	89,2	+13,1
5 лет	71,8	84,6	+12,8
10 лет	65,3	78,9	+13,6
15 лет	58,7	72,4	+13,7
21 год	52,1	67,0	+14,9

Данные основаны на исследованиях моделей выживаемости при ишемической болезни сердца

Персонализированная медицина и индивидуализация терапии

Анализ больших данных позволяет создавать риск-калькуляторы для стратификации пациентов и индивидуализации терапии. Разрабатываются адаптируемые оценки рисков для предсердной фибрилляции, сердечной недостаточности и других заболеваний. Персонализация применения препаратов, например, антикоагулянтов, с учетом генетических особенностей снижает риск нежелательных реакций.

Мультимодальные подходы, сочетающие ЭКГ, эхокардиографию, МРТ и биомаркеры, повышают точность диагностики и оценки тяжести заболеваний. Комбинация эхокардиографии и МРТ улучшает прогнозирование риска внезапной смерти при дилатационной кардиомиопатии.

Мультимодальные подходы к диагностике

Инновационные методы обработки больших объемов данных открывают новые возможности для раннего выявления и точной диагностики заболеваний сердечно-сосудистой системы. Используя многофакторный подход, специалисты могут на ранней стадии выявлять серьезные сердечно-сосудистые нарушения с высокой степенью достоверности. Сочетание ЭКГ, фонокардиограмм, эхокардиографии, датчиков Холтера и биомаркеров в рамках мультимодальной диагностической стратегии обеспечивает высокую степень точности в определении ишемической болезни сердца благодаря взаимному дополнению информации, получаемой от разнообразных источников.

Будущие перспективы и вызовы

Интеграция искусственного интеллекта и глубокого обучения позволит преодолеть ограничения традиционной статистики. Исследование на когорте из 2,1 млн человек выявило гендерно-специфичные факторы риска: курение у женщин и ХОБЛ у мужчин.

Большие данные также помогают решать проблему неравенства в здравоохранении, анализируя гендерные и социально-экономические диспропорции в заболеваемости и эффективности лечения.

Гибридные модели оценки риска

Интеграция классических и современных методов

Создание смешанных моделей для прогнозирования риска развития сердечно-сосудистых болезней является надежным направлением, которое синтезирует сильные стороны классического анализа регрессии по методу Кокса с передовыми подходами к кластерному анализу. Ученые использовали усовершенствованный алгоритм дифференциальной эволюции для тонкой настройки ключевых характеристик, что дало возможность выделить критически важные атрибуты для точной предсказательной работы по определению риска сердечно-сосудистых заболеваний.

Мультимодальный метод, интегрирующий регрессионный метод Кокса с техникой кластеризации "2-средних", обеспечивает точную оценку частоты встречаемости заболеваний и способствует разработке более точной диагностической методики. Эта стратегия особенно ценна в ситуациях, когда банальное определение наличия или отсутствия кардиологических недугов не является достаточным, и необходимо провести более глубокий анализ риска инфаркта у индивидуального пациента.

искусственного интеллекта повысит точность прогнозов и оптимизирует использование ресурсов здравоохранения.

Заключение

Прогностические модели на основе больших данных знаменуют революцию в кардиологии. Высокая точность алгоритмов, интеграция разнородных данных и стратификация пациентов значительно улучшают диагностику, прогноз и персонализацию лечения. Дальнейшая интеграция

Библиографический список

1. Md. Sahadat Hossaina, Md. Alamin Talukderb, Md. Zulfiker Mahmud Advancements in Cardiovascular Disease Detection // Leveraging Data Mining and Machine Learning. 13 Марта, 2024. С. 3–18.
2. Big Data in Cardiology: State-of-Art and Future Prospects // Nation Library of Medicine [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9010556/>.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35431026/>
3. Revolutionizing Utility of Big Data Analytics in Personalized Cardiovascular Healthcare // mdpi [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2306-5354/12/5/463>
4. Prediction of Mortality in Coronary Artery Disease: Role of Machine Learning and Maximal Exercise Capacity // Nation Library of Medicine [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35431026/>
5. A Hybrid Risk Assessment Model for Cardiovascular Disease Using Cox Regression Analysis and a 2-means clustering algorithm // Nation Library of Medicine [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31491657/>
6. Heart failure prognostic model // Nation Library of Medicine [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21776309/>
7. Revolutionizing cardiovascular disease classification through machine learning and statistical methods // Nation Library of Medicine [Электронный ресурс]. Режим доступа <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39582240/>

© Мельников Н.П., 2025

УДК 681.5

Н.А. МОЛДЫГАЛИЕВ

moldygaliev@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент каф. БМИ, К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА КАРДИОСТИМУЛЯТОР

Аннотация: представлены результаты исследования воздействия внешних электромагнитных помех на работу имплантируемых кардиостимуляторов. На основе модифицированной модели ФитцХью-Нагумо, описывающей динамику мембранного потенциала и процессы реполяризации кардиомиоцитов, разработана имитационная модель в среде AnyLogic. В модель введен внешний параметр, характеризующий случайное электромагнитное воздействие.

Ключевые слова: электрокардиостимулятор, кардиостимулятор, сердце, математическое моделирование.

Введение

Современные имплантируемые кардиостимуляторы представляют собой сложные электронные устройства, обеспечивающие поддержание нормального сердечного ритма. Принцип их работы основан на генерации электрических импульсов, стимулирующих миокард при нарушении естественной проводимости сердца. В мировой практике используются различные технологические решения, включая отечественные и зарубежные разработки.

Анализ рынка

Кардиостимуляторы серии VIRSAR SR производства компании «Имплант-Кардио» (Рисунок 1) являются примером отечественного медицинского изделия. Устройство функционирует по принципу адаптивной биполярной стимуляции с автоматическим подбором амплитуды импульса. Система использует алгоритм постоянного мониторинга импеданса сердечной ткани для предотвращения гиперстимуляции и оптимизации энергопотребления.



Рис. 6. Кардиостимулятор VIRSAR SR

Разработка технических специалистов КНР – модель Rega DR 7202 от компании MicroPort (Рисунок 2). Аппарат реализует технологию двунаправленной телеметрии с функцией автоматической оптимизации порогов стимуляции. Особенностью системы является применение адаптивных алгоритмов фильтрации миопотенциалов и система динамического управления энергией импульса на основе мониторинга тканевого сопротивления.



Рис. 7. Кардиостимулятор Rega DR 7202

Модель «Azure» от американской корпорации «Medtronic» (Рисунок 3). Принцип работы основан на технологии адаптивной частотной стимуляции с обратной связью. Устройство непрерывно анализирует гемодинамические параметры и корректирует работу в реальном времени, используя встроенные сенсоры давления и активности.



Рис. 8. Кардиостимулятор Azure XT DR

Методы исследования

Для проведения компьютерного моделирования использовалась платформа AnyLogic как среда динамического моделирования. Работа выполнялась с применением библиотеки системной динамики, предназначенной для реализации непрерывных процессов, описываемых дифференциальными уравнениями [160].

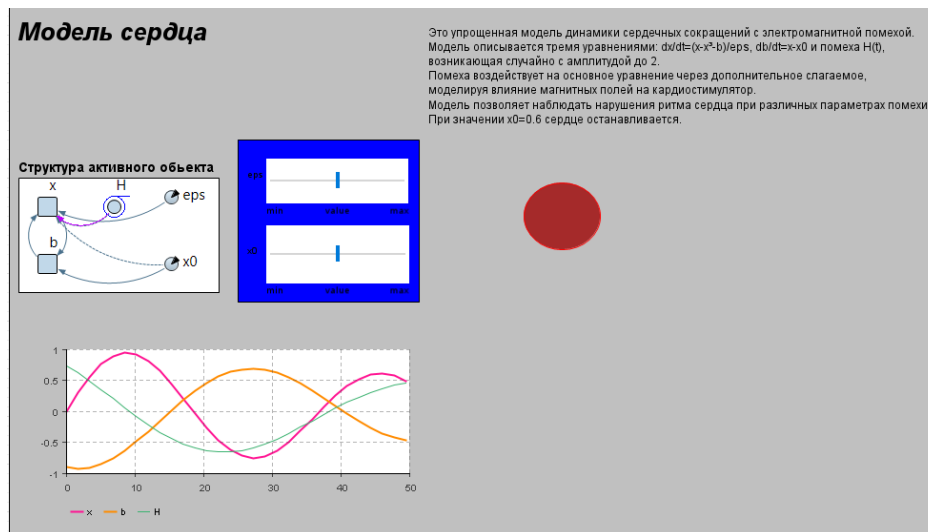


Рис. 9. Структура имитационной модели в AnyLogic

Основу исследования составила модифицированная модель кардиостимулятора, построенная на системе связанных дифференциальных уравнений (Рисунок 4). Основу исследования составила модифицированная модель ФитцХью-Нагумо, описываемая системой дифференциальных уравнений:

- уравнение динамики мембранного потенциала:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{x - x^3 - b}{eps}, \quad (1)$$

- уравнение процесса реполяризации кардиомиоцитов:

$$\frac{db}{dt} = x - x_0, \quad (2)$$

- модель внешнего электромагнитного воздействия:

$$H = \text{uniform}(0,2), \quad (3)$$

- и выходные сигналы системы:

$$X = 0.4 \times (x + 5), \quad (4)$$

$$Y = 0.4 \times (x + 5.2), \quad (5)$$

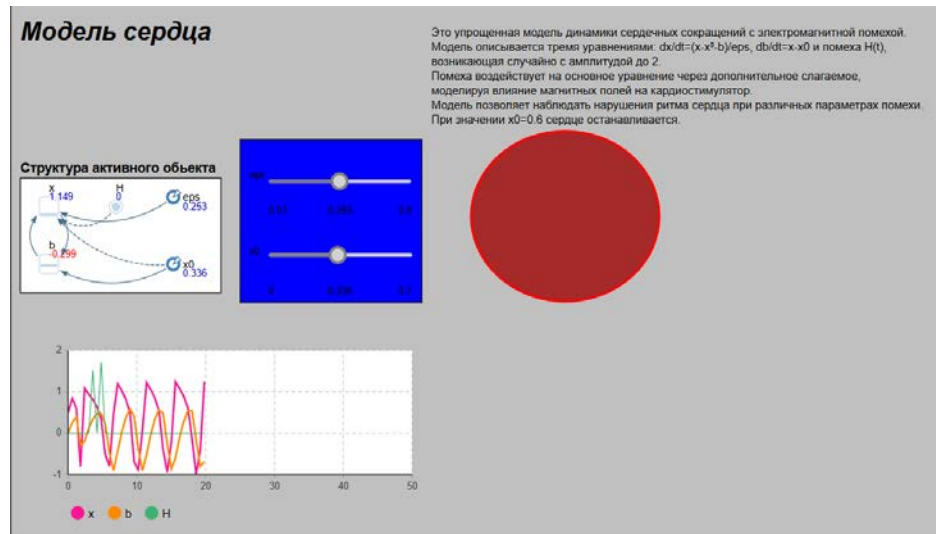


Рис. 10. Поведение модели сердца при нормальных значениях

Параметры имитационной модели включали: мембранный потенциал x с начальным значением $x_0 + H$ (усл. ед.), восстановительный ток b с начальным значением 0 (усл. ед.), порог возбуждения $x_0 = 0.5$ (усл. ед.), временной масштаб $\text{eps} = 0.01$ (безразм.), магнитную помеху H со случайными импульсами 0-2 (усл. ед.), выходные сигналы $X = 2.16$ и $Y = 2.24$ (усл. ед.). Моделирование проводилось методом Рунге-Кутты 4-го порядка с шагом 0.01 секунды. Спецификой разработанной модели стало введение внешнего параметра H , характеризующего электромагнитное воздействие на работу имплантированного устройства.

Результаты исследования

Экспериментальные исследования подтвердили работоспособность динамической модели. При воздействии на объект внешних дестабилизирующих факторов в виде электромагнитных помех амплитудой от 0 до 2.0 шума зафиксировано критическое падение восстановительного тока b с 0.93 до -0.588, представленное на рисунке 1. Данное явление приводит к нарушению проводимости и полной остановке сердечной деятельности не зависимо от параметров x_0 и eps (Рисунок 6).

<https://help.anylogic.ru/index.jsp?topic=%2Fcom.anylogic.help%2Fhtml%2Fmodeling/System-Dynamics.html> (дата обращения: 08.11.2025).

5. Здоровоохранение в России. 2023: Стат.сб./Росстат. - М., 2023. – 179 с

6. Heart Oscillations [Электронный ресурс] / Модели, созданные в AnyLogic [сайт]. [2012]. URL: <https://cloud.anylogic.com/model/bf60225c-5b29-4756-b044-528a156d27bd?mode=SETTINGS&tab=GENERAL> (дата обращения: 08.11.2025).

© Молдыгалиев Н.А., 2025

ПРОТЕЗЫ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

Аннотация: руки человека играют важную роль в познании мира и общении. Потеря конечностей вызывает потребность в протезировании, история которого начинается ещё в Древнем Египте. Современные протезы делятся на косметические, активные и бионические, последние из которых управляются с помощью сигналов нервной системы.

Ключевые слова: аплазия; протезы верхних конечностей; история развития протезов; косметические протезы; активные протезы; бионические протезы; микропроцессорное управление; ЭМГ-датчик; биопотенциал.

На данный момент существует большая потребность в протезировании, огромный пласт людей теряют верхние конечности в процессе жизни, а также у некоторых людей имеются врожденные проблемы с дефектом развития конечности – аплазии. Также эта тема является актуальной в связи с внешней политикой. Более 54% участникам военных действий, пришлось ампутировать конечность, у 20% из них ампутированы верхние конечности.

История протезирования имеет очень внушительное прошлое и очень долго развивается. Одним из самых ранних примеров протезирования относится к XVIII династии Древнего Египта, к времени царствования самого фараона Аменхотепа II (1427-1379 до н.э.). У мумии того времени, хранящейся сейчас в Каирском музее, присутствует протез большого пальца, состоящий из кожи и дерева [1].

В настоящий момент можно разделить протезы на три группы: косметические, активные и бионические.

Косметические протезы – это искусственная конечность, которая внешне максимально похожа на настоящую; позволяет человеку ощущать себя увереннее в обществе; не компенсирует утраченные функции руки, кроме эстетической.

Активные или тяговые протезы позволяют компенсировать утраченный функционал конечности помимо эстетической. Могут иметь форму, несовпадающую с анатомически правильными протезами, но этот недостаток компенсируется удобным функционалом протеза данного типа.

Название «Бионические протезы» может охватывать любой тип протеза, так он построен на принципах биомеханики, но в сообществе протезистов принято относить это название к высокотехнологичным протезам на

микропроцессорном управлении, которые способны воспринимать сигналы от нервной системы человека и преобразовывать их в команды для управления протезом. Принцип работы таких протезов основан на снятии биопотенциалов с помощью датчика, считывающего электромиографические (ЭМГ) сигналы [3]. Биопотенциал – это показатель биоэлектрической активности, определяемой разностью потенциалов между двумя точками живой ткани [2]. В свою очередь ЭМГ датчик – это устройство, которое обнаруживает и измеряет электрическую активность, вырабатываемую мышечным сокращением.

В существующих бионических протезах существует ряд проблем, которые удалось решить в собранном прототипе протеза. Основная проблема, заключается в том, что у бионических протезов отсутствует обратная связь, которая необходима для понимания инвалида о параметрах предмета, которого он касается протезом. Эту проблему удалось решить с помощью простых вибромоторов, которые посылают обратные сигналы при увеличенном потреблении тока сервоприводами, выполняющими движения протеза. Также хотелось бы упомянуть про высокие цены, существующих протезов. Эту проблему удалось решить благодаря специальным модулям протеза и дешевых материалов 3Д принтера.

Схема аппарата состоит из микропроцессора (МК) ATmega2560 5, интерфейс ввода и вывода данных 6 и интерфейса ввода и вывода данных Bluetooth, Фильтра 9, ЭМГ датчик 10, Биологического объекта (БО), блока сервоприводов 7, платы управления сервоприводами 8, блока обратной связи 11, источника питания 1 и преобразователей постоянного тока 2 и 3.

ЭМГ датчик считывает изменение биопотенциалов с БО, затем в блоке 9 происходит фильтрация биопотенциалов и передает данные в микропроцессор. Учитывая данные о жестах протеза передаваемые Bluetooth модулем, в МК сравнивает сигналы с фильтра, далее сравниваемый сигнал из МК передается на плату управления сервоприводами. После чего сервоприводы приводятся в действие. Когда палец протеза при захвате какого-либо объекта упирается, то увеличивается потребление тока в плате управления сервоприводами это считывает МК и включает вибромотор, отвечающий за конкретный палец протеза для обратной связи.

Для программирования МК предусмотрен интерфейс ввода-вывода данных, данный блок позволяет при подключении кабеля USB-A изменять программный код, установленный на МК.

Для питания всех элементов схемы в разработанной схеме прототипа бионического протеза предусмотрен блок питания 1, который реализован на литий-ионном аккумуляторе

Также предусмотрены преобразователи постоянного тока в 6 и 3,3В, для питания сервоприводов и остальных блоков соответственно.

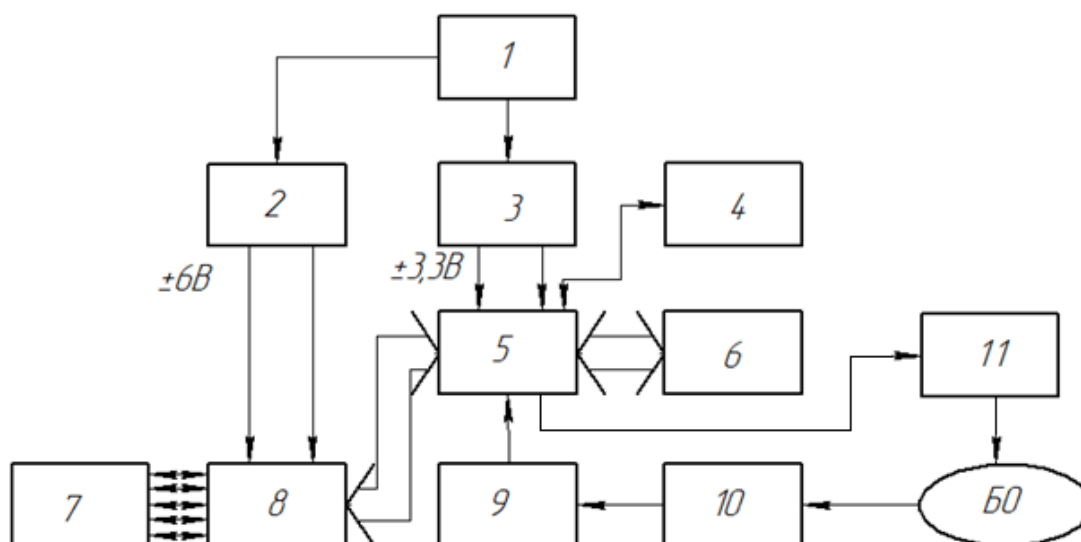


Рис. 12

Подводя итоги, хочется сказать, что сфера протезирования имеет большое прошлое и великое будущее. Был проведен анализ недостатков существующих протезов на рынке, а также предложены способы их решения. Будущее протезирования выглядит многообещающим. С развитием технологий и новыми исследованиями протезы станут ещё более функциональными, доступными и удобными в использовании.

Библиографический список

1. Круглов А. В. Антропология киборга: Антропология киборга: руководство по протезированию верхних конечностей /А. В. Круглов. – Москва: Эксмо, 2023. – 352 с.
2. Зерчанинова Е. И., Евдокимов В. В. Физиология возбудимых тканей: учебное пособие по нормальной физиологии / Е. И. Зерчанинова, В. В. Евдокимова – Екатеринбург: ГБОУ ВПО «УГМУ», 2022. – 164 с.
3. Грузд Н.А., Суходолов Ю. В. Электромиографический сенсор и его применение в области протезирования конечностей / Грузд Н.А., Суходолов Ю. В. – Новосибирск: СГУГиТ, 2020. – 112 с.

© Муругов С.С., 2025

Ю.Н. МУСТАФИНА

JuliaBTS-112@yandex.ru

Науч. руковод. – ассистент каф. БМИ К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

ИНВАЗИВНЫЕ И НЕИНВАЗИВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ САХАРА В КРОВИ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Аннотация: исследование уровня сахара в крови является важной частью диагностики и контроля сахарного диабета. Выбор метода исследования может оказать значительное влияние на точность результатов, комфорт пациента и возможность проведения повторных анализов. В данной статье мы рассмотрим инвазивные и неинвазивные методы исследования уровня сахара в крови, их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: инвазивный, неинвазивный, сахара в крови, методы исследования.

Инвазивные методы

Инвазивные методы исследования уровня сахара в крови – это процедуры, которые требуют прокола кожного покрова для получения образца крови или другой биологической жидкости с целью измерения уровня глюкозы [3].

Данные методы в источниках разделяют на несколько этапов:

1. Забор капиллярной крови. Этот метод включает в себя несколько пунктов: тщательно вымойте руки с мылом под проточной водой, обработайте палец спиртом и сделайте прокол на боковой поверхности подушечки пальца, для проведения анализа требуется маленькая капля крови, далее прикоснитесь заборным кончиком тест полоски, поставьте тест полоску в глюкометр и дождитесь результата. Однако стоит заметить, что этот метод может быть неточным и требовать калибровки прибора [2].

2. Забор венозной крови. Этот метод чаще всего используется в медицинских учреждениях и лабораториях. Вам обрабатывают Он обеспечивает более точные результаты, чем забор капиллярной крови, а также требует больше времени на проведение анализа [5].

3. Проверка на толерантность к глюкозе или же оральный глюкозотолерантный тест. Этот метод включает в себя забор крови до и после употребления определённого количества глюкозы. Он позволяет оценить, как организм реагирует на нагрузку глюкозой и выявить нарушения обмена веществ, такие как диабет [6].

4. Гликированный гемоглобин (HbA1c). Этот метод измеряет соединения гемоглобина с глюкозой, которое образуется в результате длительного воздействия повышенного уровня сахара в крови. Этот метод

отражает средний уровень глюкозы за последние 2-3 месяца и может использоваться для диагностики и контроля диабета [8].

Важно отметить, что инвазивные методы исследования уровня сахара в крови могут быть неприятными или болезненными для некоторых людей. Поэтому иногда в случаях могут быть предпочтительны неинвазивные методы исследования глюкозы в крови. Однако выбор метода исследования должен быть основан на рекомендациях врача и индивидуальных особенностях пациента.

Неинвазивные методы

Неинвазивные методы бывают такие как [4]:

1. Непрерывный мониторинг глюкозы (НМГ). Это система, которая состоит из небольшого датчика, который устанавливается под кожу, и приёмника, который показывает уровень сахара в реальном времени. Датчик измеряет уровень глюкозы каждые несколько минут и передаёт данные на приёмник [9].

2. Оптические методы. Некоторые компании разрабатывают устройства, которые могут измерять уровень сахара в крови через кожу с помощью оптических датчиков. Однако на данный момент эти методы находятся на стадии разработки и не являются широко доступными [4].

3. Анализ мочи на глюкозу. Этот метод позволяет определить наличие глюкозы в моче, что может указывать на повышенный уровень сахара в крови. Однако этот метод бывает неточен и может давать ложноотрицательные результаты [2].

4. Анализ пота. Некоторые исследования показывают, что анализ пота может быть использован для неинвазивного измерения уровня сахара в крови. Однако этот метод также находится на стадии разработки и не является широко доступным [10].

Важно отметить, что ни один из этих методов не заменяет инвазивные методы, такие как анализ крови из пальца или вены. Однако они могут быть полезны для людей с диабетом, которые смогут контролировать уровень сахара в крови без необходимости прокалывать кожу.

Преимущества и недостатки инвазивных и неинвазивных методов

Инвазивные методы позволяют быстро получить результаты анализа, но могут вызывать дискомфорт у пациента и повышать риск развития осложнений, а неинвазивные методы могут быть более комфортными для пациента, но не могут заменить традиционные инвазивные методы, и они могут требовать постоянной калибровки, однако могут быть удобными людям с сахарным диабетом для контроля уровня глюкозы в крови.

Заключение

Инвазивные и неинвазивные методы исследования уровня сахара в крови имеют свои преимущества и недостатки. Выбор метода должен основываться на индивидуальных потребностях пациента и рекомендациях врача. Важно помнить, что правильный выбор метода исследования может помочь контролировать уровень сахара в крови и предотвратить развитие возможных осложнений.

Библиографический список

1. Ревинская И. И., Камлач П. В. Преимущества и недостатки инвазивных и неинвазивных методов измерения глюкозы в крови – статья – (https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/22278/1/conference_tpu-2015-C18-014.pdf)
2. Обзор современных инвазивных и неинвазивных методов измерения глюкозы в крови. Гладкая К. С., Карпинчик Г. А.
3. Неинвазивные методы измерения сахара в крови, Мезенцева М.А., Букрина Т.А. научная статья (https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/22278/1/conference_tpu-2015-C18-014.pdf), 2015 г, –9 с.
4. Динамика развития методов контроля гликемии от инвазивных к неинвазивным. Актуальные перспективы© Бабенко А.Ю.1,2, Кононова Ю.А.1,2, Циберкин А.И.1, Ходзицкий М.К.2, Гринева Е.Н.1,2
5. Нормальная физиология: Учебник для студентов университетов / А.В. Коробков, А.А. Башкиров, К.Т. Ветчинкина / под ред. А.В. Коробкова. – М.: Высшая школа, 1980. – 560 с.
6. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований, Назаренко Г.И., Кишкун А.А – М., 2005.
7. Козлов В.И. Взаимодействие лазерного излучения с биотканями // Сборник трудов «Применение низкоинтенсивных лазеров в клинической практике» / под ред. О.К. Скобелкина. – М.: ГНЦ лазерной медицины, 1997. – 24-34 с.
8. Гликозилированный гемоглобин в диагностике диабета и в оценках рисков его осложнений, Вельков В.В., – 32 с.
9. Современные технологии непрерывного мониторинга гликемии: развивающиеся возможности контроля и управления, Демидова Т.Ю., Ушанова Ф.О. научная статья (https://www.rmj.ru/articles/endokrinologiya/Sovremennye_tehnologii nepreryvnogo_monitoringa_glikemii_razvivayuschiesya_vozmoghnosti kontrolya_i upravleniya/#ixzz8tPZheord),
10. Электрохимическое определение концентрации глюкозы в поте для неинвазивной диагностики диабета, Карпова Е.В., Щербачева Е.В. доклад на конференции (<https://istina.msu.ru/conferences/presentations/191286733/>)

11. Determination of Glucose in Whole Blood Attenuated Total Reflection Infrared Spectroscopy, Heise H.M., Marbach R., Janatsch G., Kruse-Jarres J.D., || Anal. Chem. 1989: 61, 2009-2015.
12. "Диагностические аспекты взаимосвязи параметров гемодинамики и уровня глюкозы в крови", Эльбаев А.Д., Курданов Х.А., Эльбаева А.Д, журнал "Клиническая физиология кровообращения", 2006, N 3, –15-20 с.
13. "Метод мониторинга уровня глюкозы", Фрегер Д., Авнер Г., Райхман А., патент N 6954662; подан 19.08.2003, получен 11.10.2005 (см. http://www.google.ru/patents/about/6954662_Method_of_monitoring_glucose_level.html?id=dhwVAAAAEBAJ).

© Мустафина Ю.Н., 2025

А.В. МУСЯКОВА

musykova_alexandra@mail.ru

Научный руководитель: к.т.н., доцент, доцент кафедры биомедицинской инженерии З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ДАННЫХ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ

Аннотация: в статье рассматриваются этические и правовые проблемы, связанные с обеспечением конфиденциальности и безопасности интеллектуальных систем диагностики заболеваний, основанных на больших данных.

Ключевые слова: интеллектуальные системы диагностики, конфиденциальность, безопасность данных, ИИ-диагностика, рекомендательные технологии.

Развитие интеллектуальных систем диагностики заболеваний (далее - ИСДЗ) на основе сбора данных открывает новые горизонты в здравоохранении, позволяя повысить точность диагностики и эффективность лечения. Однако, широкое внедрение таких систем связано с серьезными проблемами в области обеспечения конфиденциальности и безопасности медицинских данных. Статья посвящена исследованию этических и правовых последствий сбора и использования указанных сведений.

ИСДЗ зачастую опираются на огромные объемы информации, включающие генетические данные, медицинскую историю болезни, результаты анализов, изображения медицинской визуализации и данные с носимых датчиков и пр. Эта информация требует строгой защиты от несанкционированного доступа, использования или ее раскрытия. Рассмотрим ряд проблем, которые требуют разрешения при активном внедрении ИСДЗ.

Одной из существенных проблем является сложность обеспечения конфиденциальности при обработке данных, так, хакерские атаки на базы данных медицинских учреждений или облачные хранилища могут привести к утечке конфиденциальных данных пациентов. Кроме того, эти данные могут быть использованы для дискриминации, страхового мошенничества или продажи третьим лицам без согласия пациентов, при этом не всегда ясно, как используются данные пациентов и какие меры безопасности приняты для их защиты. Отсутствие прозрачности вызывает недоверие и опасения. Стоит также отметить, что полная анонимизация данных часто оказывается невозможной, и даже анонимизированные данные могут быть использованы для идентификации

личности.

Следующей существенной проблемой является обеспечение безопасности обрабатываемых в ИСДЗ данных: так, сами алгоритмы ИИ могут содержать уязвимости, которые могут быть использованы злоумышленниками для доступа к данным или манипулирования результатами диагностики. Кроме того, передача данных между различными системами и устройствами может быть уязвима для перехвата.

Целесообразно также рассмотрение этических и правовых последствий использования ИСДЗ. Так, сбор и использование медицинских данных без информированного согласия пациентов является нарушением их права на неприкосновенность частной жизни. Использование данных для оценки риска развития заболеваний может привести к дискриминации при приеме на работу, страховании или получении кредитов.

Для обеспечения конфиденциальности и безопасности данных в системах ИИ-диагностики необходим комплексный подход, который может заключаться в принятии следующих мер:

1. Применение методов дифференциальной приватности, федеративного обучения, гомоморфного шифрования и технологии блокчейн для обеспечения конфиденциальности данных во время обучения и использования ИСДЗ.

2. Строгое соблюдение существующих законов о защите данных (ФЗ №152 «О защите персональных данных», стандарты «GDPR» (право на доступ к своим персональным данным), «HIPAA» (использование медицинской информации и соблюдение стандартов конфиденциальности и безопасности их обработки) и др.), разработка новых законодательных актов, регулирующих использование ИИ в здравоохранении;

3. Создание независимых механизмов аудита и контроля за соблюдением требований конфиденциальности и безопасности данных. Аудиторы, не связанные с организацией, могут проводить оценку существующих процессов и систем на предмет их готовности к соблюдению норм конфиденциальности и безопасности данных. Это помогает выявить скрытые уязвимости, недочеты в политике безопасности;

4. Повышение квалификации медицинских работников и разработчиков ИСДЗ в вопросах защиты данных и этики.

Таким образом, интеллектуальные системы диагностики заболеваний открывают огромные возможности для улучшения здравоохранения, но их внедрение требует своевременного решения проблем конфиденциальности и безопасности данных. Только комплексный подход, включающий разработку строгих мер безопасности, законодательное регулирование и повышение этической ответственности, позволит обеспечить надежную и этически обоснованную работу ИИ-систем в медицине.

Библиографический список

1. Grevtseva, A.S. Method of assessment the degree of reliability of the pulse wave image in the rapid diagnosis of the human condition / A.S. Grevtseva, K.J. Smirnov, K.V. Greshnevikov, V.Yu Rud, A.P. Glinushkin // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1368(2). – P. 022072.

2. Чопоров, О.Н. Особенности применения методов интеллектуального анализа данных и многоуровневого мониторинга при решении задачи рационализации медицинской помощи / О.Н. Чопоров, С.В. Болгов, И.И. Манакин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2015. – № 1(8). – С. 2.

3. AI в 2023 году: как развивается искусственный интеллект [Электронный ресурс] // URL: <http://netology.ru/blog/03-2023-ai-trends> (дата обращения 15.04.2025).

4. Нейронные сети [Электронный ресурс] // URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/neural-networks> (дата обращения 15.04.2025)

© Мусякова А.В., 2025

А.В. МУСЯКОВА

musykova_alexandra@mail.ru

Науч. руковод. – к.т.н., доцент, доцент кафедры биомедицинской инженерии З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ СБОРА ДАННЫХ

Аннотация: в статье рассматриваются способы интеллектуального анализа индивидуальных данных пациентов в целях адаптации диагностического исследования и построения планов лечения, что будет способствовать переходу к эффективному персонализированному подходу в области здравоохранения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, интеллектуальные системы, биомедицина, сбор данных.

Современная медицина стоит на пороге революции, связанной с внедрением искусственного интеллекта (далее - ИИ) в диагностику и лечение заболеваний. Одной из наиболее перспективных областей применения ИИ является персонализированная медицина, которая предполагает адаптацию диагностических исследований и составление планов лечения с учетом индивидуальных особенностей каждого пациента. По этой причине в работе будут представлен анализ возможностей ИИ на пути к эффективному здравоохранению.

Традиционный подход к диагностике и лечению заболеваний часто опирается на усредненные данные, общие протоколы и клинические рекомендации. Однако, каждый человек уникален, его генетическая предрасположенность, образ жизни, окружающая среда и сопутствующие заболевания существенно влияют на вероятность развития и течение различных болезней. Именно в этом случае технология ИИ может сыграть ключевую роль.

Интеллектуальные системы диагностики, основанные на сборе данных, способны обрабатывать огромные объемы информации, включая генетические данные (генотипирование, анализ экспрессии генов и пр.), медицинскую историю пациента, результаты лабораторных анализов, данные о стиле жизни (питание, физическая активность, курение), а также данные с носимых датчиков (пульс, сон, физическая активность). Этот комплексный подход позволяет создавать подробный «профиль здоровья» каждого пациента. Алгоритмы ИИ и машинное обучение способны выявлять сложные взаимосвязи между различными факторами риска и развитием заболеваний. Это позволяет:

1. Повысить точность диагностики, что в ряде случаев обусловлено необходимостью анализа ИИ медицинских изображений (МРТ, КТ, рентген) с

большой точностью, в сравнении с интерпретацией человеком, обнаруживая ранние признаки заболеваний, незаметных для врача;

2. Разработать персонализированные планы лечения. Так, на основе индивидуального профиля здоровья алгоритмы ИИ могут предложить оптимальный план лечения, учитывая генетическую предрасположенность пациента, его реакции на различные препараты и другие факторы, что в целом может привести к снижению побочных эффектов и повышению эффективности терапии;

3. Оптимизировать профилактику заболеваний (анализируя данные о стиле жизни и генетических рисках, ИИ может предложить персонализированные рекомендации по профилактике заболеваний, например, по изменению диеты или увеличению физической активности);

4. Предсказать вероятность развития заболеваний, что обусловлено возможностью предиктивной аналитики, прогнозирования рисков развития определенных заболеваний у конкретного пациента, что, в свою очередь, позволяет начать профилактические меры на ранней стадии.

Однако, внедрение ИИ в персонализированную медицину сопряжено с рядом вызовов, которые заключаются в том, что необходимо обеспечивать строгую защиту биомедицинских данных, их тщательное тестирование и валидацию, чтобы гарантировать точность и надежность, обеспечить доступ к ИИ-технологиям для всех пациентов, независимо от их социального статуса и географического положения, а также повышение квалификации медицинского персонала в сфере возможностей использования технологий ИИ.

В заключение необходимо отметить, что персонализированная медицина, основанная на ИИ, обладает огромным потенциалом в области здравоохранения. Однако, для успешного внедрения этих технологий необходимо решить ряд организационных и этических проблем. Только комплексный подход, объединяющий усилия исследователей, врачей и разработчиков, позволит реализовать весь потенциал ИИ в борьбе с заболеваниями и создании благополучия.

Библиографический список

1. Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R. A., Ko, J., Swetter, S. M., & Blau, H. M. (2017). Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks, *542*(7639), 115-118с.

2. Topol, E. (2019). *Deep medicine: How artificial intelligence can make healthcare human again*. Basic Books.

3. Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., & Narayanaswamy, A. (2016). Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs. *JAMA*, *316*(22), 2402-2410.

4. Кузнецова А.В., Сенько О.В., Кузнецова Ю.О. Преодоление проблемы «чёрного ящика» при использовании методов машинного обучения в медицине // Врачи и информационные технологии. 2018. №S1. С. 74-80

5. Выучейская В.М., Крайнова И.Н., Грибанов А.В. Нейросетевые технологии в диагностике заболеваний (обзор) // Журнал медико-биологических исследований. 2018. №3. С. 284-294.

6. Yudav Samir & Jadhav, Shivajirao. (2020). Machine Learning-Based Cardiovascular Disease Diagnosis Using Feature Selection. 7 p. DOI: 10.13140/RG.2.2.15329.33123

© Мусякова А.В., 2025

Р.А. МУХАМЕТШИН

radmil_mukhametshin@mail.ru

Науч. руковод. – ст. преп. кафедры БМИ Э.Ю. АБДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ И РЕАБИЛИТАЦИИ ОБОНЯТЕЛЬНЫХ НАРУШЕНИЙ

Аннотация: в статье рассматривается влияние нарушений обоняния и вкуса на эмоциональные и когнитивные расстройства в России. Анализируется связь этих нарушений с последствиями COVID-19, старением населения и нейродегенеративными заболеваниями. Разработка структурной схемы устройства для диагностики и реабилитации обонятельных нарушений, проблемы и нарушения.

Ключевые слова: устройство для диагностики и реабилитации обонятельных нарушений, эмоциональные и когнитивные расстройства в России, COVID-19.

Обоняние и вкус, будучи ключевыми сенсорными системами, не только позволяют человеку взаимодействовать с окружающей средой, но и формируют основу для эмоциональных реакций, социальной адаптации и когнитивных процессов. Их нарушения, такие как anosmia (полная потеря обоняния), hyposmia (снижение чувствительности к запахам) или dysgeusia (искажение вкусовых ощущений), оказывают глубокое влияние на качество жизни. В России, где проблема старения населения и рост хронических заболеваний становятся все более актуальными, эти нарушения приобретают особую значимость. Например, в период пандемии COVID-19, по данным Роспотребнадзора, до 67% переболевших россиян столкнулись с временной потерей обоняния [1], причем у 7-10% симптомы сохранялись более года. Это сопровождалось увеличением числа обращений за психологической помощью: по информации Минздрава РФ, в 2023–2024 годах количество пациентов с тревожными расстройствами оставалось стабильно высоким, а депрессивные состояния были диагностированы у 15% лиц, перенесших коронавирусную инфекцию с длительными последствиями [2]. Такие цифры иллюстрируют, как сенсорные дисфункции запускают цепную реакцию, затрагивающую психическое здоровье и когнитивные функции.

Ситуация усугубляется демографическими тенденциями. Согласно актуальным прогнозам Росстата, к 2030 году доля граждан старше 60 лет в России превысит 25% [3], что неизбежно повлечет рост возраст-ассоциированных заболеваний, таких как болезнь Альцгеймера и Паркинсона. Эти патологии часто манифестируют с обонятельных нарушений: исследования

Научного центра неврологии (2024) показали, что у 80% пациентов с ранними стадиями болезни Альцгеймера наблюдается гипосмия [4], которая предшествует когнитивному спаду на 5–8 лет. Вкусовые расстройства, тесно связанные с обонянием (до 80% восприятия вкуса зависит от запахов), также вносят вклад в ухудшение здоровья. Например, по данным Института питания РАМН, у 30% пожилых россиян отмечается дефицит нутриентов из-за снижения аппетита, вызванного дисгевзией или аносмией [5]. Это, в свою очередь, влияет на нейропластичность мозга, ускоряя развитие когнитивных нарушений – проблем с памятью, концентрацией и исполнительными функциями.

Эмоциональные расстройства, такие как депрессия, тревога и апатия, часто становятся следствием сенсорных нарушений. Исследование НМИЦ психиатрии и наркологии им. В.П. Сербского (2023) выявило, что у 40% пациентов с хронической аносмией развивается клинически значимая тревожность [6], а у 25% – симптомы депрессии. В группе лиц старше 50 лет эти состояния коррелируют с ухудшением когнитивных показателей: например, у 35% участников исследования наблюдалось снижение скорости обработки информации и рабочей памяти. Причины такой взаимосвязи кроются в нейробиологических механизмах. Обонятельные рецепторы напрямую связаны с лимбической системой мозга, включая амигдалу и гиппокамп, которые отвечают за эмоции и память. Повреждение этих структур, будь то из-за нейродегенерации, травм или инфекций, нарушает не только восприятие запахов, но и эмоционально-когнитивный баланс.

Особую сложность в России представляет доступность специализированной помощи. В крупных городах, таких как Москва или Санкт-Петербург, работают ольфактологические центры и клиники когнитивного здоровья, но в регионах ситуация иная. По данным Общероссийского народного фронта (2024), до 60% жителей малых городов и сельской местности не имеют возможности пройти ольфактометрию – базовое исследование для диагностики обонятельных нарушений [7]. Психологическая и неврологическая помощь также остается недоступной: на 100 тысяч населения в регионах приходится в 3 раза меньше психиатров, чем в столице. Это приводит к поздней диагностике и прогрессированию нарушений. Например, пациенты с фантосмией (восприятием несуществующих запахов) часто годами лечатся у отоларингологов, не получая направлений к неврологам, хотя этот симптом может быть ранним признаком опухолей мозга или эпилепсии.

Важным аспектом остается недостаточная информированность населения и медицинских работников о взаимосвязи сенсорных, эмоциональных и когнитивных расстройств. Социологический опрос ВЦИОМ (2024) показал, что только 18% россиян связывают потерю обоняния с риском депрессии, а 65% не знают о роли вкусовых нарушений в развитии нейродегенеративных заболеваний [8]. Это подчеркивает необходимость образовательных программ и междисциплинарного подхода в лечении. Успешные примеры уже есть: в Татарстане проект «Когнитивное здоровье», реализуемый с 2021 года, был расширен в 2024 году, и пациенты с аносмией проходят комплексное

обследование у невролога, психиатра и диетолога. Результаты программы показали, что такая тактика на 30% снижает риск развития депрессии и на 20% замедляет когнитивный спад у лиц старше 60 лет [9].

Таким образом, проблема обонятельных, вкусовых, эмоциональных и когнитивных нарушений в России требует системного решения, включающего улучшение диагностической инфраструктуры, подготовку специалистов и повышение осведомленности общества. Актуальность темы усиливается на фоне старения населения, роста хронических заболеваний и последствий пандемии COVID-19.

Разработанная структурная схема представлена на рисунке 1.

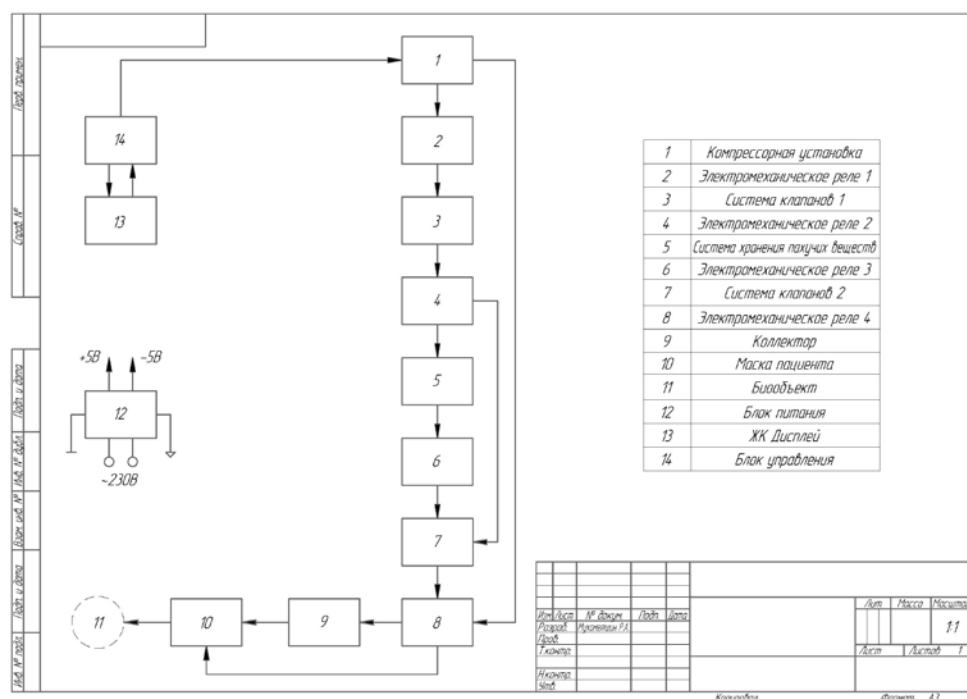


Рис. 1. Структурная схема «Устройство для диагностики и реабилитации обонятельных нарушений»

Разработанный прибор работает следующим образом: при подключении питания начинает функционировать блок управления, далее он подаёт управляющий сигнал на компрессорную установку. После включения прибор переходит в исходный режим – продувку системы. В этом режиме сжатый воздух, создаваемый компрессорной установкой с ресивером, через редуктор давления направляется на электропневматическое реле 4. Воздух проходит по всему контуру, очищая магистраль от остатков пахучих веществ, при этом подача воздуха на маску пациента исключается. Таким образом, система подготавливается к рабочему состоянию.

После выбора режима работы и необходимого ароматического канала с помощью блока управления, управляющие сигналы переключают реле и клапаны, переводя прибор в рабочий режим. В этом режиме воздух от

компрессорной установки направляется через электромеханическое реле 1 в систему клапанов 1, где осуществляется распределение потока. Далее воздух поступает на электромеханическое реле 2, которое в зависимости от команды блока управления направляет поток либо в обходную линию для продувки, либо в систему хранения пахучих веществ.

При подаче воздуха в систему хранения пахучих веществ происходит насыщение потока парами выбранного ароматического вещества. Блок управления открывает соответствующий клапан, что позволяет точно выбирать нужный запах. После насыщения воздух поступает на электромеханическое реле 3 и далее в систему клапанов 2, где производится регулировка давления и дозировка воздуха, направляемого к пациенту.

Затем воздух проходит через электромеханическое реле 4, которое обеспечивает окончательное направление потока – либо к коллектору, либо в обходную линию при продувке. Из коллектора воздух равномерно распределяется и подаётся на маску пациента, через которую биообъект вдыхает воздух, насыщенный парами выбранного вещества.

По завершении сеанса блок управления автоматически переводит прибор в режим продувки, при котором все реле и клапаны переключаются так, чтобы воздух проходил по обходному контуру, минуя систему хранения пахучих веществ. Это обеспечивает очистку всех воздушных линий и предотвращает смешение запахов при следующем использовании прибора.

Работа всех узлов контролируется блоком управления, а текущие параметры и режимы отображаются на ЖК-дисплее. Таким образом, прибор обеспечивает управляемую подачу сжатого воздуха, насыщенного парами пахучих веществ, с возможностью продувки системы, что делает возможной как диагностику, так и тренировку обонятельной функции пациента.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс]: Данные Роспотребнадзора о потере обоняния при COVID-19 <https://www.rospotrebnadzor.ru>
2. [Электронный ресурс]: Статистика Минздрава РФ по тревожным и депрессивным расстройствам <https://www.rosminzdrav.ru>
3. [Электронный ресурс]: Демографические прогнозы Росстата до 2030 года <https://rosstat.gov.ru>
4. [Электронный ресурс]: Исследования Научного центра неврологии о связи гипосмии и болезни Альцгеймера <https://www.neurology.ru>
5. [Электронный ресурс]: Данные Института питания РАМН о нутриентном дефиците у пожилых <https://www.ion.ru>
6. [Электронный ресурс]: Исследование НМИЦ психиатрии и наркологии им. В.П. Сербского о тревожности и депрессии при аносмии <https://www.serbsky.ru>

7. [Электронный ресурс]: Отчет Общероссийского народного фронта о доступности ольфактометрии в регионах <https://onf.ru>
8. [Электронный ресурс]: Социологический опрос ВЦИОМ об информированности россиян о сенсорных нарушениях <https://wciom.ru>
9. [Электронный ресурс]: Результаты проекта «Когнитивное здоровье» в Татарстане <https://minzdrav.tatarstan.ru>

© Мухаметшин Р.А., 2025

Д.И. ПОНОМАРЕВА

dponomareva2606@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент З.И. ХАРИСОВА

Уфимский Университет Науки и Технологий

АРХИТЕКТУРА И IoT-ДАТЧИКИ В НЕОНАТАЛЬНЫХ КУВЕЗАХ

Аннотация: в статье рассматриваются возможности и преимущества применения IoT-технологий в кувезах для недоношенных детей, а также приводится архитектура интеллектуальной системы и типы IoT-датчиков для контроля микроклимата и физиологических параметров, применяемых для подобных устройств.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), кувез, недоношенные новорожденные, мониторинг параметров, искусственный интеллект, контактные датчики, бесконтактные датчики.

По данным Минздрава, в России рождается более 100 тысяч недоношенных детей в год. Такие дети, как правило, имеют экстремально низкую массу тела и несформированные системы организма. Недоношенный организм не способен на терморегуляцию, а иммунная система у таких детей чрезвычайно слаба. Поэтому использование кувезов – устройств, создающих безопасные условия для выхаживания новорожденных, является необходимостью. В таких устройствах поддерживается температура воздуха 37–38°C, влажность колеблется от 85 до 95 %, содержание кислорода составляет 33–60%. Именно такие параметры являются оптимальными и имитируют внутриутробную среду [3].

Однако традиционный кувез лишь создает физический барьер, обеспечивая стабильность окружающей среды, а использование современных технологий Интернета вещей (IoT) дает возможность отслеживать и анализировать данные о состоянии младенца в режиме реального времени [4, с. 63].

Архитектура кувеза с применением IoT-технологии строится на трех компонентах [6, с. 5]:

- датчики, непрерывно собирающие данные о младенце и параметры окружающей среды;
- микроконтроллер, осуществляющий обработку данных и передачу их в облако;
- платформа анализа данных и интерфейс, где данные визуализируются и доводятся до медицинского персонала [5, с. 364].

На рисунке 1 изображено схематичное представление архитектуры кувеза с применением технологии IoT.



Рис. 13. Схематичное изображение архитектуры кувеза

Датчики IoT, применяемые в кувезах, можно разделить на следующие типы: датчики контроля микроклимата и физиологические датчики. Первый тип датчиков выполняет функцию контроля температуры, влажности и содержания кислорода в кувезе. Такие датчики располагаются внутри и отслеживают постоянство параметров окружающей среды. Кроме того, IoT-система дает возможность автоматически регулировать работу нагревательных элементов, увлажнителей, что обеспечивает требуемый микроклимат и сводит к минимуму ручные настройки [1, с. 109].

Физиологические датчики представляют собой контактные или бесконтактные устройства, которые регистрируют жизненно важные показатели младенца. Термометры применяются для постоянного измерения температуры тела, тем самым, исключая риск перегрева или переохлаждения новорожденного. Современные датчики сердечного ритма и дыхания позволяют бесконтактно отслеживать параметры младенца с помощью систем на основе анализа видеопотока, что исключает дискомфорт и уменьшает количество электродов и проводов на теле ребенка. Пульсоксиметр – датчики, измеряющие уровень насыщения крови кислородом. При критическом падении этого параметра, система немедленно оповещает персонал [7].

Также возможно применение датчиков положения, которые следят за тем, чтобы голова новорожденного была приподнята на необходимый угол с целью профилактики регургитации и облегчения дыхания [1, с. 110].

Применение технологии IoT дает преимущество раннего предупреждения: алгоритмы искусственного интеллекта анализируют данные с датчиков и выявляют едва заметные изменения, за которыми могут последовать критические состояния. Например, начальные признаки апноэ (остановки дыхания) или брадикардии (замедления сердцебиения) могут быть обнаружены до явного ухудшения состояния, что дает больше времени для предупреждения приступа [5, с. 363].

Кроме того, бесконтактные IoT-датчики минимизируют необходимость физического контакта с младенцем в процессе проведения измерений, что снижает стресс ослабленного новорожденного и риск нанесения повреждений.

Удаленный мониторинг позволяет врачу-неонатологу отслеживать состояние пациентов с экрана компьютера или смартфона без необходимости постоянного физического присутствия [1, с. 112].

Также система IoT способна анализировать данные конкретного младенца и адаптировать параметры микроклимата под индивидуальные реакции организма пациента.

Таким образом, интеграция технологии IoT способствует более эффективному, персонализированному, безопасному [2, с. 134] и оперативному уходу за недоношенными детьми. Датчики IoT превращают кувез в центральный узел сбора и анализа данных, который создает оптимальные условия для выхаживания младенца, значительно повышая шансы на выздоровление.

Библиографический список

1. Аксенова Е.И. Применение технологий Интернета вещей в здравоохранении / Е.И. Аксенова, С.Ю. Горбатов. – Текст: электронный // Здоровье мегаполиса. 2021. №2. С. 101-113. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-tehnologiy-interneta-veschey-v-zdravoohranenii/viewer> (дата обращения: 29.10.2025)
2. Ишмеева, А. С. Некоторые аспекты защиты пациентов медицинских учреждений при пожаре / А. С. Ишмеева, З. И. Харисова // Государство, общество, личность: история и современность: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Пенза, 23–24 апреля 2024 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 132-135.
3. Казанова А.М. Этические аспекты терапии недоношенных детей / А.М. Казанова, С.К. Зырянов. Текст: электронный // Медицинская этика. 2023. URL: <https://medet.rsmu.press/archive/2023/2/4/abstract?lang=ru> (дата обращения: 29.10.2025)
4. Чикина О.Г. Использование кувезов, как фактор риска развития инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи при выхаживании новорожденных детей с экстремально низкой и очень низкой массой тела / О.Г. Чикина, А.С. Благоданова, Е.Б. Султанова. Текст: электронный // Практическая медицина. 2017. №4. С. 63-67. URL: <https://cyberleninka.ru/>

article/n/ispolzovanie-kuvezov-kak-faktor-riska-razvitiya-infektsiy-svyazannyh-s-okazaniem-meditsinskoj-pomoschi-pri-vykhazhivanii-novorozhdennyh/viewer (дата обращения: 29.10.2025)

5. Шаяхметова А.Р. Методические подходы к интеграции IoT-датчиков / А.Р. Шаяхметова. Текст: электронный // Экономика строительства. 2025. № 6. С. 363-365. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-podhody-k-integratsii-iot-datchikov/viewer> (дата обращения: 29.10.2025)

6. Теоретико-множественный подход к построению дуальной системной модели ПАК для исследуемой области деятельности со смешанными реальными и виртуальными объектами / В. В. Антонов, Г. Г. Куликов, З. И. Харисова, Л. Е. Родионова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. 2020. Т. 20, № 1. С. 5-15.

7. Haghi M.A. Wearable Devices in Health Monitoring from the Environmental towards Multiple Domains: A Survey / Haghi, M., Danyali, S., Wang, M. – Текст: электронный // Sensors. – 2020. – URL: https://www.researchgate.net/publication/350175736_Wearable_Devices_in_Health_Monitoring_from_the_Environmental_towards_Multiple_Domains_A_Survey (дата обращения: 29.10.2025)

© Пономарева Д.И., 2025

Д.И. ПОНОМАРЕВА

dponomareva2606@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент кафедры БМИ, З.И. ХАРИСОВА

Уфимский Университет Науки и Технологий

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР НЕОНАТАЛЬНЫХ КУВЕЗОВ НА БАЗЕ IoT-ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация: в статье приводятся современные решения мировых производителей в области неонатологии и IoT-технологий. Рассматриваются их архитектура, система оповещения и возможности интеграции в информационную систему, а также выявляются преимущества каждого из кувезов и основные направления их совершенствования.

Ключевые слова: Интернет вещей (IoT), кувез, мониторинг параметров, больничная информационная система.

Кувез (инкубатор для новорожденных) – это устройство, которое обеспечивает контролируемую среду для младенцев, нуждающихся в особом уходе. Основные функции кувеза: **поддержание температуры тела, контроль уровня кислорода, защита от инфекций, контроль влажности, мониторинг состояния ребенка [4].**

Современные технологии повышают требования к точности, стабильности и непрерывности контроля параметров микроклимата в кувезе [3, с. 63]. Технология Интернета вещей (IoT) позволяет сделать традиционный кувез устройством, которое оснащено датчиками и сетевым интерфейсом и передает данные в централизованную систему для удаленного мониторинга, анализа, оповещения и управления в реальном времени [1, с. 102]. В настоящей работе будут представлены существующие на сегодняшний день решения подобного рода ведущих мировых производителей.

Так, немецкая компания «Drager» выпускает кувезы для новорожденных «Isolette 8000», которые используются в сочетании с мониторами «**Infinity M540**». «Drager» предлагает новый стандарт терморегуляции с большим количеством функций, предназначенных для создания стабильной и комфортной среды вокруг малыша. Данные со встроенных в кувез датчиков (температура, влажность, вес ребенка) передаются на монитор «M540», который, в свою очередь, интегрируется с центральной станцией мониторинга всего отделения. Это позволяет медицинскому персоналу наблюдать за состоянием среды в кувезе и физиологическими параметрами ребенка удаленно, не подходя к аппарату. В случае выхода какого-либо параметра за пределы уставки или при определенной тенденции его отклонения срабатывает тревога. Помимо этого, данные могут быть экспортированы в больничную информационную систему, автоматически

пополняя электронную медицинскую карту пациента. Это исключает ошибки ручного ввода и экономит время персонала [6]. На рисунке 1 представлен внешний вид кувеза «Isolette 8000».



Рис. 14. Внешний вид кувеза «Isolette 8000»

Американская компания «GE Healthcare» предлагает высокотехнологичные решения серии «Giraffe». Кувез «Giraffe Incubator» конструктивно объединен с многофункциональным монитором «Giraffe OmniBed», который отслеживает как параметры микроклимата, так и жизненно важные показатели ребенка. Как и «Drager», «GE Healthcare» обеспечивает подключение устройства к единой сети отделения. Это позволяет данным с кувеза-монитора «Giraffe» отображаться на центральной станции. Встроенное программное обеспечение и сопутствующие системы позволяют не только видеть текущие значения, но и анализировать динамику параметров за длительный период, что помогает в оценке состояния ребенка и эффективности терапии [5]. На рисунке 2 представлен внешний вид кувеза «Giraffe».



Рис. 15. Внешний вид кувеза Giraffe

В таблице 1 представлен сравнительный анализ рассмотренных коммерческих решений.

Таблица 1

Сравнительный анализ

Критерий	«Drager»	«Healthcare»
Архитектура	Кувез – монитор – центральная станция – больничная информационная система	Кувез – монитор – сеть отделения
IoT-функции	Система тревог, интеграция в рабочие процессы	Отслеживание динамики параметров, анализ тенденций
Преимущества	Стандартизация, надежность, долгосрочная эксплуатация	Визуализация данных, комплексность ухода, аналитические функции
Стоимость	2 000 000 рублей	1 785 000 рублей

Однако у подобных технологически решений есть ряд недостатков. Данные остаются внутри экосистемы производителя и больницы. Это обеспечивает безопасность, но ограничивает возможность подключения сторонних аналитических сервисов или проведения исследований. Внедрение таких комплексных систем требует значительных затрат, что может быть недоступно для небольших медицинских учреждений. Помимо этого, требуется обучение персонала работе не только с устройством, но и с сетевыми функциями и программным обеспечением [9].

Таким образом, применение IoT технологий в области неонатологии позволяет создавать высоконадежные, защищенные и сертифицированные медицинские сети, основной задачей которых является не просто сбор данных [7], а повышение безопасности пациента [2, с. 133], эффективности работы медперсонала и интеграция в цифровую инфраструктуру медицинского учреждения. Дальнейшее развитие данной области связано с обеспечением безопасного обмена данными [8, с. 340] и усилением функции прогнозирования возникновения проблемы, что даст возможность медицинскому персоналу действовать на опережение.

Библиографический список

1. Аксенова Е.И. Применение технологий Интернета вещей в здравоохранении / Е.И. Аксенова, С.Ю. Горбатов Текст: электронный // Здоровье мегаполиса. 2021. №2. С. 101-113. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primeneniye-tehnologiy-interneta-veschey-v-zdravoohranenii/viewer> (дата обращения: 1.11.2025)
2. Ишмеева, А. С. Некоторые аспекты защиты пациентов медицинских учреждений при пожаре / А. С. Ишмеева, З. И. Харисова // Государство, общество, личность: история и современность: Сборник статей VII

Международной научно-практической конференции, Пенза, 23–24 апреля 2024 года. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2024. С. 132-135.

3. Чикина О.Г. Использование кувезов, как фактор риска развития инфекций, связанных с оказанием медицинской помощи при выхаживании новорожденных детей с экстремально низкой и очень низкой массой тела / О.Г. Чикина, А.С. Благоданова, Е.Б. Султанова. – Текст: электронный // Практическая медицина. – 2017. – № 4. – С. 63-67. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kuvezov-kak-faktor-riska-razvitiya-infektsiy-svyazannyh-s-okazaniem-meditsinskoj-pomoschi-pri-vykhazhivanii-povorozhdennykh/viewer> (дата обращения: 3.11.2025)

4. Axion. Медицинская техника [Электронный ресурс]. – URL: <https://axion-med.ru/articles/chto-takoe-kyuvez-i-zachem-on-nuzhen/> (дата обращения: 3.11.2025)

5. Macro актив. Инкубатор Giraffe Incubator [Электронный ресурс]. – URL: <https://macroaktiv.ru/product/inkubatoryireanimatsionnyesistemy/inkubator-giraffe-incubator-carestation/> (дата обращения: 3.11.2025)

6. MST. Инкубатор для новорожденных Drager Isolette 8000 [Электронный ресурс]. – URL: https://medsyst.ru/catalog/inkubatory-dlya-povorozhdennykh/draeger-isolette-8000-plus/?utm_source=abdm&utm_medium=cpc&utm_campaign=medsyst&utm_content=tv_at&ybaip=1&yclid=17484786662739017727 (дата обращения: 3.11.2025)

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023667481 Российская Федерация. BIOSCAN - Интеллектуальная система распознавания биометрических данных на основе машинного обучения (ML), компьютерного зрения (CV) и искусственного интеллекта (AI): № 2023666662: заявл. 08.08.2023: опублик. 15.08.2023 / З. И. Харисова, Э. Д. Нугаева; заявитель Федеральное государственное казенное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский юридический институт Министерства внутренних дел Российской Федерации».

8. Системная модель интеллектуальной предметно-ориентированной профайлинг-системы / В. В. Антонов, З. И. Харисова, З. Р. Мансурова [и др.] // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, № 3(37). С. 338-350.

9. Naghi M.A. Wearable Devices in Health Monitoring from the Environmental towards Multiple Domains: A Survey / Naghi, M., Danyali, S., Wang, M. – Текст: электронный // Sensors. – 2020. – URL: https://www.researchgate.net/publication/350175736_Wearable_Devices_in_Health_Monitoring_from_the_Environmental_towards_Multiple_Domains_A_Survey (дата обращения: 3.11.2025)

© Пономарева Д.И., 2025

О.А. ПОРОШИНА

olga210403@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР МЕТОДОВ МУЛЬТИКЛАССОВОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ В МЕДИЦИНЕ

Аннотация: в статье приведен обзор широко распространенных методов мультиклассовой классификации с использованием алгоритмов машинного обучения в медицине, рассмотрены преимущества и недостатки различных подходов. На основе обзора приведен возможный алгоритм выбора подхода решения задач классификации в медицине.

Ключевые слова: мультиклассовая классификация; машинное обучение; логистическая регрессия; медицинские данные; дерево решений; случайный лес; нейронные сети.

Технологии машинного обучения широко применяются в различных областях медицины для диагностики, разработки планов лечения, интерпретации результатов научных исследований, автоматизации работы с документацией, прогнозирования рисков и так далее. Задача классификации при этом является одной из ключевых задач и применяется при необходимости прогнозирования бинарного или множественного ответа.

Целью многоклассовой классификации является установление принадлежности наблюдения к одному из более чем двух классов на основе определенных входных данных, например, определение стадии заболевания (упорядоченный выбор) или классификация видов новообразований (неупорядоченный выбор).

При выборе технологий и методов обработки данных, а также алгоритмов построения моделей для машинного обучения необходимо учитывать специфику данных. Как правило медицинские данные часто обладают высокой степенью дисбаланса классов, содержат шум, пропуски, артефакты. Другой особенностью является гетерогенность, то есть данные могут иметь разный формат: текст (истории болезни, документация), изображения (снимки КТ, МРТ), сигналы во времени (ЭКГ, ЭЭГ), таблицы (результаты лабораторных исследований) и так далее. Специфика медицинских данных определяет дополнительные требования к интерпретируемости результатов, высокой точности, соответствию правовых и этических аспектов.

Задача множественной классификации представляет собой общий случай бинарной классификации. Пусть имеется обучающая выборка

$$D = (x_i, y_i), x \in R^d, i = 1, \dots, n, y = 1, \dots, k,$$

где x_i – вектор признаков, y_i – категория, к которой принадлежит i -е наблюдение, n – число наблюдений, k – число категорий. Тогда задачу классификации можно сформулировать следующим образом: необходимо определить функцию f , такую, что

$$f(x) = \arg \max_{k \in Y} P(y = k | x),$$

где $P(y=k/x)$ – условная вероятность. Таким образом, классификатор должен для каждого x определять соответствующий класс y , причем параметры модели должны обеспечивать максимальную условную вероятность $P(y=k/x)$ [1 с. 24].

Еще одним аспектом задачи является минимизация функции потерь, которая дает количественную оценку отклонения результатов предсказания от фактических данных. В общем случае функция потерь описывается матрицей $K \times K$:

$$L = (l_{y', y}), \quad \text{где} \quad l_{y', y} = L(y', y),$$

где y' – полученный результат прогнозирования, y – соответствующее фактическое значение [1 с. 26].

При выборе метода необходимо учитывать тип данных, размерность, степень сбалансированности классов, устойчивость к шумам и пропускам, требования к интерпретируемости результата.

Иногда для множественной классификация исходная задача разбивается на ряд бинарных классификаций. К таким методам относятся методы один против всех (One-versus-all, OvA) и один против одного (One versus One, OvO), основным различием которых является количество создаваемых бинарных классификаторов.

При OvA строится один классификатор для каждой категории, причем наблюдения других категорий считаются отрицательными. Итог такого обучения представляет собой k классификаторов f_i , каждому i соответствует вектор

$$z = \begin{cases} z_i = y_i, & y_i = k \\ z_i = 0, & y_i \neq k \end{cases}$$

Результат определяется выражением:

$$\hat{y} = \arg \max_l f_l(x)$$

Метод OvA применим для данных с четкими границами и небольшим количеством признаков, позволяет легко добавлять новые классы, имеет большой потенциал при мощных базовых алгоритмах, хорошо работающих на больших данных. К недостаткам метода можно отнести плохую масштабируемость и невысокую точность. Ввиду несбалансированности классов при обучении (количество отрицательных наблюдений отлично от количества положительных) возникает проблема дисбаланса в пределах бинарного обучения.

При OvO строится $k(k-1)$ бинарных классификаторов для каждой пары наблюдений (i,j) , которые относятся к разным категориям. Результат имеет вид

$$\hat{y} = \arg \max_{x \in X} \sum_i f_{ij}(x)$$

OvO более устойчив к дисбалансу в пределах отдельной пары наблюдений. В отличие от OvA, где зависимость числа бинарных классификаторов от количества наблюдений линейна, при OvO их число возрастает квадратично. Метод применим для небольших наборов данных и при базовых алгоритмах, эффективных на малых подзадачах.

Другим методом является применение функции Softmax, которая позволяет применять логистическую регрессию для многомерного случая. Результатом такого обучения является вектор значений, который может быть интерпретирован как набор вероятностей, при этом принадлежность наблюдения к определенной категории обусловлена максимальным значением [2 с. 47]. Главная особенность функции Softmax – применение векторной функции Ψ :

$$\Psi(z_1, z_1, \dots, z_k) = \begin{bmatrix} \psi_1(z_1, z_1, \dots, z_k) \\ \psi_1(z_1, z_1, \dots, z_k) \\ \vdots \\ \psi_k(z_1, z_1, \dots, z_k) \end{bmatrix},$$

где

$$R^k \rightarrow (0,1)^k$$

$$\psi_k(z_1, z_2, \dots, z_k) = \frac{\exp(z_k)}{\sum_{i=1}^k \exp(z_i)}$$

Последнее выражение задает ограничение значения ψ_k в пределах от 0 до 1. В совокупности с тем, что сумма значений равна 1, это условие позволяет принять вещественные значения ψ_k как вероятности принадлежности наблюдения определенному классу. Результат имеет вид:

$$\hat{y} = \arg \max_k (\psi(z_1, z_2, \dots, z_k))$$

Метод Softmax применим, когда имеется линейная или близкая к линейной зависимость, однако имеет низкую точность при моделировании нелинейных связей. Эффективен при среднем и большом количестве данных, большой размерности и разреженности признаков. В качестве основных достоинств метода можно выделить высокую интерпретируемость и масштабируемость.

Отличным от перечисленных является классификатор дерево решений. Структурно дерево решений представляет собой упорядоченную и иерархическую последовательность правил, содержащих некоторое условие. Правила содержатся в узлах дерева, где проверяется выполнение или невыполнение условия в зависимости от атрибутов конкретного наблюдения [2 с. 56].

Корневым узлом дерева решений является набор исходных данных. Данные разбиваются на несколько узлов таким образом, чтобы значения признаков значительно отличались и происходит оценка статистических критериев. Затем находится наилучшее разделение по каждому предиктору и определяется наилучшее правило, которое отмечаться на ветвях дерева. После этого снова происходит разбиение. Результатом такого обучения являются вычисленные для каждого узла значения вероятностей альтернатив целевой переменной. В итоге происходит прогнозирование класса. Структура дерева решений представлен на рис. 1.



Рис. 16. Структура дерева решений

Применение этого метода позволяет работать с большим количеством данных и получить высокую степень интерпретируемости, не требует значительной предобработки данных (нормализации, устранения пропусков). Метод обладает высокой скоростью и точностью обучения. Однако следует отметить, что алгоритмы мультиклассовой классификации на основе деревьев

решений обладают склонностью к переобучению и неустойчивостью к изменениям в исходных данных.

Для повышения эффективности дерева решений применяются ансамбли моделей, самым распространенным из которых является случайный лес (Random Forest). Требуемое значение точности достигается путем создания большого количества деревьев. В основе метода лежит бэггинг (параллельное обучение базовых моделей) и метод случайных подпространств.

Достоинствами случайного леса является нечувствительность к пропускам и масштабированию, возможность параллельных вычислений и применение на большом количестве данных, однако необходимо учитывать возрастание размера обучающих моделей. Недостатком является снижение степени интерпретируемости.

Другим способом уменьшения влияния недостатков модели дерева является бустинг, который позволяет неограниченно повышать точность обучения на тестовой выборке, путем увеличения ансамбля. Распространённые варианты бустинга – адабустинг (классификатор строится на объектах, которые не были успешно классифицированы на предыдущих классификаторах) и градиентный бустинг (точность линейной комбинации базовых алгоритмов повышается последовательно) [3 с. 60].

Преимущество применения бустинга обусловлено его возможностью снижения склонности деревьев решений к переобучению и повышением устойчивости.

Наиболее продвинутым алгоритмом, применяемым для решения задач мультиклассовой классификации являются нейронные сети. Обучение нейронных сетей происходит путем перерасчета весов (коэффициентов связей между базовыми элементами) согласно некоторому правилу, которое итеративно применяется в алгоритме обучения. Базовым элементом является искусственные нейроны. Схематичное изображение нейронной сети представлено на рис. 2.

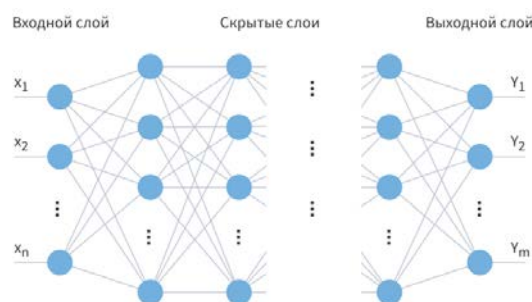


Рис. 2. Схематичное изображение нейронной сети

Нейронные сети могут применяться для различных типов входных данных (текст, таблицы, изображения, временные ряды и так далее). Алгоритмы этого метода позволяют моделировать нелинейные сложные связи, обладают высокой эффективностью и гибкостью. Нейронные сети могут быть склонны к переобучению на небольшом количестве данных. Недостатками применения алгоритмов нейронных сетей является крайне низкая степень

интерпретируемости, неизбежное возрастание вычислительных затрат и сложности реализации и настройки [4, с. 338].

Возможный алгоритм выбора способа решения задачи классификации в сфере медицины можно представить следующим образом:

1. Сбор медицинских данных;
2. Предобработка (нормализация, балансировка);
3. Анализ структуры и объема;
4. Выбор возможных методов согласно имеющимся требованиям;
5. Обучение и валидация каждого;
6. Расчет и оценка метрик и интерпретируемости;
7. Выбор лучшего метода;
8. Интеграция в клиническую практику.

Таким образом, при выборе метода мультиклассовой классификации в медицине должны быть учтены многие факторы, такие как устойчивость к редким классам, степень прозрачности, требования к вычислительным ресурсам, специфика медицинских данных [5, с. 104] и пр. Наиболее оптимальный подход – начать с интерпретируемых моделей, затем разрабатывать более сложные модели и определить наилучший метод, удовлетворяющий требованиям и возможностям.

Библиографический список

1. Вьюгин, В. В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования: учебное пособие / В. В. Вьюгин. Москва: МЦНМО, 2014. 304 с.
2. Золкин, А. Л. Машинное обучение и искусственный интеллект в медицине. Алгоритмы, приложения и перспективы: учебник для вузов / А. Л. Золкин, В. Д. Мунистер, П. М. Подолько. Санкт-Петербург: Лань, 2025. 180 с.
3. Платонов, А. В. Машинное обучение: учебное пособие для вузов / А. В. Платонов. 2-е изд. Москва : Издательство Юрайт, 2025. 89 с.
4. Системная модель интеллектуальной предметно-ориентированной профайлинг-системы / В. В. Антонов, З. И. Харисова, З. Р. Мансурова [и др.] // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, № 3(37). – С. 338-350.
5. Моделирование проблем правового регулирования сферы искусственного интеллекта / В. В. Антонов, З. И. Харисова, Н. Р. Калимуллин, А. И. Абдулнагимов // Фундаментальные проблемы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации : сборник докладов II Всероссийской научной конференции (с приглашением зарубежных ученых), Ставрополь, 30 ноября 2020 года. Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2020. С. 100-104.

© Порошина О.А., 2025

Т.Ш. РАФИКОВ

nbvehhfabrjd@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент, И.А. ЛАКМАН

Уфимский университет науки и технологий

РЕЛЕВАНТНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЯЗЫКА ДЛЯ РАБОТЫ С КЛИНИЧЕСКИМИ РЕКОМЕНДАЦИЯМИ

Аннотация: в данной статье рассматривается релевантность применения технологий обработки естественного языка для задач, связанных с клиническими рекомендациями. Проанализированы ключевые направления применения обработки естественного языка, выявлены основные проблемы для его использования. Рассмотрены перспективы интеграции больших языковых моделей в клиническую практику.

Ключевые слова: обработка естественного языка, клинические рекомендации, искусственный интеллект в медицине, машинное обучение, большие языковые модели

В современной системе здравоохранения присутствует большой объём неструктурированных текстовых данных, к которым относятся истории болезни, клинические записи, научные публикации и клинические рекомендации. Анализ такого большого количества данных вручную, для принятия обоснованных решений, в условиях ограниченного времени представляет значительную сложность для медицинского персонала. Такое положение создаёт потребность в автоматизации, которая сможет преобразовывать текстовую информацию в структурированные данные.

Целью данной статьи является анализ релевантности и конкретных применений технологий обработки естественного языка (NLP – Natural Language Processing) для повышения эффективности и качества работы с клиническими рекомендациями. Для достижения данной цели будут рассмотрены теоретические возможности применения обработки естественного языка в контексте клинических рекомендаций, проанализированы существующие решения и оценены перспективы развития направления.

Одним из наиболее релевантных применений обработки естественного языка является извлечение информации из медицинских текстов. Алгоритмы позволяют автоматически идентифицировать и извлекать медицинские сущности, такие как симптомы, диагнозы, лекарственные препараты, лабораторные показатели и процедуры, из неструктурированных записей. Это позволяет структурировать историю болезни пациента и автоматически сопоставлять ее с критериями клинических рекомендаций, выявляя, например,

пациентов, подходящих для определенного протокола лечения или клинического исследования.

Другим критически важным направлением является поддержка принятия врачебных решений. Современные NLP-системы, в частности, основанные на архитектуре Transformer, способны анализировать текст электронной медицинской карты и предлагать врачу подходящие пункты клинических рекомендаций. Например, при вводе диагноза «фибрилляция предсердий» система может автоматически предложить актуальный протокол по антикоагулянтной терапии, учитывая данные пациента о возрасте, сопутствующих заболеваниях и рисках.

NLP также играет ключевую роль в автоматизации медицинского документооборота. Технологии, такие как автоматическое суммирование текста и генерация отчетов, позволяют значительно снизить административную нагрузку на врачей. Интеллектуальные ассистенты, подобные российскому решению «Цифра Мед», могут автоматически формировать текстовые разделы истории болезни на основе диалога с врачом, обеспечивая соответствие документации стандартизированным рекомендациям.

Несмотря на высокий потенциал, внедрение NLP-решений сталкивается с рядом серьезных вызовов. Ключевой проблемой является малое количество данных. Для обучения точных и надежных моделей необходимы большие массивы размеченных медицинских текстов, доступ к которым ограничен из-за строгих требований конфиденциальности. Особенно остро эта проблема стоит для русского языка, где объемы качественных размеченных медицинских корпусов существенно уступают английским.

Лингвистическая сложность медицинской коммуникации представляет другой вызов. Медицинские тексты изобилуют профессиональным жаргоном, аббревиатурами, эпонимическими названиями и часто имеют нестандартную грамматическую структуру, что затрудняет их обработку стандартными NLP-моделями.

Наконец, существуют этические и правовые аспекты. Применение искусственного интеллекта в медицине требует обеспечения прозрачности, ответственности и безопасности. В контексте NLP это трансформируется в проблему того, что сложные модели не всегда могут объяснить, на основании каких именно слов в истории болезни они предложили ту или иную рекомендацию. Это ставит под вопрос юридическую ответственность за принятое решение и требует сохранения за врачом роли конечного арбитра.

Наиболее перспективным направлением развития является интеграция в клиническую практику больших языковых моделей (LLM – Large Language Models). Эти модели демонстрируют исключительные способности в понимании контекста, генерации связного текста и диалоге.

Перспективным подходом является использование метода генерации с дополненной выборкой (RAG – Retrieval-Augmented Generation), который сочетает в себе способности LLM к генерации с доступом к актуальным и проверенным базам знаний, таким как клинические рекомендации. Врач мог

бы задать системе вопрос на естественном языке о методе лечения сложного пациента, а система, используя RAG, найдет подходящие фрагменты клинических протоколов и сгенерирует структурированный и аргументированный ответ. Для российского здравоохранения ключевой задачей становится разработка и тонкая настройка подобных специфичных LLM на корпусах русскоязычных медицинских текстов и нормативных документов.

Таким образом, технологии NLP следует рассматривать не как замену врачебному мышлению, а как мощный инструмент для когнитивной поддержки и снижения операционной нагрузки. Их ключевая релевантность заключается в способности обрабатывать тот массив неструктурированной текстовой информации, который просто недоступен для полного и своевременного анализа человеком в условиях ограниченного времени приема.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о высокой релевантности технологий NLP для задач, связанных с клиническими рекомендациями. NLP-решения способны кардинально повысить доступность релевантной клинической информации для врача в момент принятия решения, снизить административную нагрузку и стандартизировать процесс оказания медицинской помощи. Однако успешное внедрение этих технологий напрямую зависит от решения проблем с данными, прозрачностью моделей и их бесшовной интеграции в медицинский рабочий процесс. Дальнейшее развитие направления будет связано со специализированными большими языковыми моделями, которые, при условии их ответственного и этичного применения, могут стать мощным инструментом для поддержки врачей и улучшения качества медицинской помощи.

Библиографический список

1. Этические принципы и использование искусственного интеллекта в здравоохранении: руководство ВОЗ. Резюме [Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. Executive summary]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2021. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

2. Стратегия цифровой трансформации отрасли «Здравоохранение» до 2024 года и на плановый период до 2030 года. Паспорт. // Министерство Здравоохранения Российской Федерации. – 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru> (дата обращения 05.11.2025)

3. ЦифроМед: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.digitalms.ru/> (дата обращения 06.11.2025)

4. Андрейченко А.Е., Гусев А.В. Перспективы применения больших языковых моделей в здравоохранении. *Национальное здравоохранение*. 2023;4(4):48-55. [Электронный ресурс]. – URL: <https://doi.org/10.47093/2713-069X.2023.4.4.48-55> (Дата обращения: 07.11.2025)

5. Gavrilo D., Gusev A., Korsakov I., Novitsky R., and Serova L., "Feature Extraction Method from Electronic Health Records in Russia", in Proceedings of the FRUCT'26, ISSN 2305-7254, ISBN 978-952-69244-2-7, pp. 497-500, April 2020

© Рафиков Т.Ш., 2025

Т.Ш. РАФИКОВ
nbvehhfabrjd@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент, И.А. ЛАКМАН

Уфимский университет науки и технологий

ЦИФРОВИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: РОЛЬ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы системы здравоохранения, которые способна решить цифровизация управленческой деятельности. Представлены направления регулирования искусственного интеллекта в здравоохранении. Рассмотрены российские современные решения на основе искусственного интеллекта для управленческой деятельности в медицине.

Ключевые слова: цифровизация, искусственный интеллект, здравоохранение, управление, этика, медицинские технологии

На сегодняшний день в здравоохранении существует большое количество информационных систем с неупорядоченными форматами данных. Присутствуют такие проблемы, как разрозненность информационных ресурсов, которые хорошо выполняют специализированные функции, но не образуют упорядоченные информационные потоки стандартизированных данных, повышенная нагрузка на медицинских работников, низкие показатели доступности приложений и информационной среды, как следствие использования различных вычислительных ресурсов на федеральном и региональном уровне.

Решение перечисленных проблем возможно при цифровизации отраслей здравоохранения, внедрения в неё цифровых систем и сервисов, способных автоматизировать работу, улучшить качество диагностики заболеваний и уменьшить нагрузку на медицинский персонал.

Полезная работа ИИ зависит от коллективных усилий по разработке сервисов, этических норм, которые принимаются в сторону ИИ, и политических мер по регулированию данной сферы технологий. При недостаточном внимании к этическим принципам и правовым регулированием в отношении человека в сфере искусственного интеллекта, способны проявить себя потенциальные негативные последствия, которые могут сильно пошатнуть доверие людей к искусственному интеллекту. Работа в данном направлении обеспечивает большие возможности в различных сферах деятельности, поэтому важно бережное и внимательное отношение к взаимодействиям искусственного интеллекта и человека.

Сегодня регулирование технологий с применением ИИ в медицине осуществляется по трем направлениям:

- Нормативно-правовое
- Техническое
- Этическое

Техническими называют требований и стандартов, которые предъявляются к продукции, в них раскрывается терминология и содержится описание свойств и характеристик продуктов.

Основные этические принципы использования ИИ в здравоохранении:

1. Автономия человека – сохранения деятельности человека в работе, в которой применяется искусственный интеллект. Другими словами, у людей всегда должно быть право самостоятельно действовать и решать, независимо от технологий. В контексте здравоохранения это означает, что врачи и пациенты должны принимать медицинские решения и иметь постоянное влияние на систему здравоохранения.

2. Безопасность людей и общественных интересов – искусственный интеллект своими действиями обязан сохранять благополучие людей и не причинять им вред. Разработчики должны учитывать потенциальные опасности создаваемых ими продуктов и применять соответствующие меры, также к ним должны применяться особые требования для регулирования их работы.

3. Обеспечение прозрачности – искусственный интеллект должны быть понятны людям, работающим с ним. Технология должна быть пригодна для восприятия медицинскими работниками, разработчиками, регулирующими органами, пользователями и пациентами.

4. Ответственность и подотчетность – при различных негативных ситуациях, связанных с искусственным интеллектом, должна сохраняться ответственность людей. Так же важна подотчётность, для выяснения обстоятельств, выявление неисправностей в системе и своевременной компенсации пострадавшим лицам.

5. Равенство и справедливость – применение искусственного интеллекта должно обеспечивать справедливое отношение к пользователям. Так же важно равенство людей в доступе к технологии, независимо от пола, возраста, расовой или этнической принадлежности, уровня дохода, способностей и других характеристик, для защиты прав человека.

6. Содействие внедрению – искусственный интеллект имеет большие перспективы в сфере здравоохранения, поэтому важна поддержка данного направления на различных уровнях взаимодействия, начиная от разработчика и представителя власти до рядового пользователя.

Помимо этических норм, стоит учитывать и вмешательство регулирующих органов для оказания безопасной, высококачественной и эффективной медицинской помощи.

В России регулирование применения искусственного интеллекта в здравоохранении осуществляется следующими документами:

– Указ Президента Российской Федерации от 10.10.2019 №490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации»
– Национальный проект Российской Федерации «Здравоохранение»
– Федеральный закон от 21.11.2011 №323 Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации»

– Постановление Правительства РФ от 27.12.2012 №1416 «Об утверждении Правил государственной регистрации медицинских изделий»

В России, как и в остальном мире в последние годы ведётся активное развитие ИИ-сервисов ориентированных на систему здравоохранения. Одним из наиболее известных примеров является платформа Webiomed, разработанная компанией К-Скай. Данная система предназначена для автоматизированного анализа электронных медицинских записей и прогнозирования рисков хронических заболеваний. Она может использоваться как в лечебной, так и в управленческой деятельности, формируя прогнозы по нагрузке на медицинские учреждения и предлагая рекомендации по профилактике заболеваний на уровне региона или отдельного учреждения.

Ещё одним примером является сервис СберЗдоровье, который предоставляет телемедицинские консультации, электронную запись, загруженность специалистов, использование ИИ для первичного анализа симптомов пациента на основе чат-ботов, формирование индивидуальных маршрутов лечения.

Проект компании Цифра Мед, представляет из себя интеллектуального ассистента для врача, который помогает вести приём, подсказывая стандартные схемы лечения, автоматически формирует текст медицинской документации (жалобы, анамнез, диагноз), помогает при перегрузке отдельных специалистов и необходимости перераспределения расписания.

Региональная информационно-аналитическая медицинская система (РИАМС) «ПроМед» – это специализированный программный комплекс, который автоматизирует различные процессы, например, сбор, обработка и хранение информации в системе здравоохранения. Данная система работает с экономическими, медицинскими и статистическими данными.

Lexema-Medicine. Специализированная система поддержки принятия врачебных решений для назначения персонализированной терапии с использованием алгоритмов ИИ и управления ресурсами для медицинских холдингов. Включает рекомендательную систему поддержки принятия решений для назначения персонализированной терапии пациентам с использованием алгоритмов искусственного интеллекта.

Компьютеризация административных задач в здравоохранении, основанная на искусственном интеллекте, становится важной областью для прогресса сектора. Сегодня российские стратегии демонстрируют способность существенно повысить эффективность медицинских учреждений, оптимизировать движение пациентов, прогнозировать распределение ресурсов и поддерживать выбор управления.

Развитие цифровых технологий, при помощи государственной поддержки, научных исследований и технических решений, поможет решить множество проблем системы здравоохранения.

Библиографический список

1. Батырева Е.В. Применение ИИ в здравоохранении: законы, стандарты, этические проблемы. – М.: РАНЧиГС, 2022. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cdto.ranepa.ru> (дата обращения: 07.11.2025)
2. Этические принципы и использование искусственного интеллекта в здравоохранении: руководство ВОЗ. Резюме [Ethics and governance of artificial intelligence for health: WHO guidance. Executive summary]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2021. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
3. Стратегия цифровой трансформации отрасли «Здравоохранение» до 2024 года и на плановый период до 2030 года. Паспорт. // Министерство Здравоохранения Российской Федерации. –2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://minzdrav.gov.ru> (дата обращения 07.11.2025)
4. Гусев А. Обзор Российских систем искусственного интеллекта для здравоохранения. [Электронный ресурс]. – URL: <https://webiomed.ru/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-iskusstvennogo-intellekta-dlia-zdravookhraneniia/> (дата обращения 07.11.2025)
5. Сберздоровье: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://sberhealth.ru/> (дата обращения 08.11.2025)
6. ЦифроМед: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.digitalms.ru/> (дата обращения 08.11.2025)
7. РИАМС ПроМед: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://demo.rtmis.ru/> (дата обращения 08.11.2025)
8. Lexema-Medicine: специализированная система управления ресурсами для медицинских холдингов [Электронный ресурс]. – URL: <https://lexema.ru/medicine/> (дата обращения 08.11.2025)

© Рафиков Т.Ш., 2025

УДК 004.942

Ю.Е. РЕШЕТНИКОВА

yulia0604@bk.ru

Науч. руковод. – асс. кафедры биохимии, биотехнологии и физиологии
А.Р. ДАВЛЕТБАЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ИГРОВЫЕ СИСТЕМЫ С НЕЙРОИНТЕРФЕЙСАМИ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ КАК СРЕДСТВО ФОРМИРОВАНИЯ УСИДЧИВОСТИ У ШКОЛЬНИКОВ МЛАДШЕГО И СРЕДНЕГО ЗВЕНА

Аннотация: в работе представлен сравнительный обзор игровых систем, использующих неинвазивные нейроинтерфейсы и биологическую обратную связь для формирования усидчивости и саморегуляции у детей младшего и среднего школьного возраста. На основе обобщения литературы определяется оптимальная технологическая стратегия для будущей НИР по разработке игры для развития навыков саморегуляции.

Ключевые слова: нейроинтерфейсы, биологическая обратная связь, нейрофидбек, игровые системы, образовательные технологии, усидчивость, саморегуляция, внимание, школьники, когнитивные функции, неинвазивные сенсоры.

Развитие усидчивости и устойчивости внимания – один из ключевых факторов успешного обучения и когнитивного развития детей. Международные исследования показывают, что признаки сниженной концентрации, импульсивности и трудности длительного удержания внимания наблюдаются у 20-35% детей без диагноза СДВГ (Suades-González E., 2017; Skara D., 2022). Эти проявления связаны с трудностями выполнения учебных заданий, замедленным темпом работы и повышенной утомляемостью.

Игровые технологии с использованием физиологической обратной связи рассматриваются как инструменты тренировки саморегуляции, позволяющие ребёнку учиться регулировать состояние через прямую связь между собственными физиологическими показателями и игровыми элементами. Однако эффективность таких решений зависит от технических характеристик сенсоров, особенностей алгоритмов и качества научной валидации.

Цель работы – провести систематический обзор существующих технологий и определить, какие решения являются наиболее перспективными для формирования усидчивости в массовых бытовых и образовательных условиях, а также обосновать выбор HRV-сигнала для будущей НИР.

Для обеспечения терминологической точности и исключения смешения уровней технологий используются следующие определения.

Нейроинтерфейс – это аппаратно-программная система, регистрирующая сигналы нервной системы или связанные с ней физиологические показатели. Наиболее распространённые модальности:

- ЭЭГ (электроэнцефалография) – это метод исследования, который регистрирует корковую активность;
- Поверхностная электромиография (sEMG) – метод регистрации электрической активности скелетных мышц с поверхности кожи, позволяет оценивать мышечное напряжение без инвазивных датчиков;
- EDA (Электродермальная активность) – кожно-гальваническая реакция (КГР), позволяющая измерить активность вегетативной нервной системы, эмоциональное возбуждение и стресс.
- Вариабельность сердечного ритма (HRV), измеряемая с помощью фотоплетизмографии (PPG) – метод регистрации изменений пульсовой волны с поверхности кожи. PPG фиксирует оптические изменения кровенаполнения тканей, на основе которых могут вычисляться интервальные показатели, применяемые для оценки HRV. Точность расчёта HRV по PPG ниже по сравнению с ЭКГ и зависит от алгоритмов фильтрации и качества датчика, однако современные носимые устройства обеспечивают достаточную надёжность для пользовательских и игровых приложений.

Биологическая обратная связь (БОС) – представление физиологических показателей пользователю в режиме реального времени для обучения управлению своим состоянием (дыханием, напряжением, стрессом, частотой сердечных сокращений).

Нейрофидбек – частный случай БОС, использующий показатели нейронной активности (в первую очередь ЭЭГ). Он направлен на изменение специфических ритмов мозга (альфа, SMR и др.).

В настоящем обзоре рассматриваются только неинвазивные технологии, применимые в пользовательских игровых сценариях.

Обзор опирается на систематику нейротехнологий, предложенную в инженерных и когнитивных работах von Lühmann A. (2017) и Saitis C., Kalimeri K. (2018), выделяющую:

- 1) нейроинтерфейсы,
- 2) системы БОС,
- 3) нейровизуализацию¹.

Работа Krigolson O. показала, что потребительские ЭЭГ-устройства (например, Muse²) способны регистрировать спектральные маркёры внимания и

¹ Нейровизуализация относится не к физиологическим сенсорам, а к способам визуального представления игровой среды (например, через VR-гарнитуры). Такие технологии меняют формат отображения, но не влияют на механизм биологической обратной связи и не определяют содержательное наполнение игры. Ввиду отсутствия значимой информации для сравнения используемых модальностей в сравнительный анализ не включена.

² Muse – это нейрообруч с датчиками, оснащённый ЭЭГ-модулем, отслеживающий активность мозга в реальном времени и передающий обратную связь через звуковые сигналы в наушниках, помогая вам быстрее входить в состояние концентрации и покоя.

генерировать ПСС-сигналы³, сопоставимые с лабораторными решениями. Однако авторы отмечают высокую чувствительность к артефактам движения и необходимость стабильной посадки электродов.

Мета-анализ Daniel-Watanabe L. (2019) охватывает 33 исследования и подтверждает эффективность ЭЭГ-нейрофидбека, однако отмечает высокую длительность тренировочных программ (20-40 сессий) и значительную зависимость от квалификации специалиста. Это подтверждает ограниченную применимость ЭЭГ в массовых игровых условиях.

Исследования мультимодальных интерфейсов von Lühmann A. (2017) демонстрируют, что объединение ЭЭГ, PPG и акселерометрии повышает устойчивость данных, но увеличивает сложность оборудования. Такие системы эффективны для научных задач, но не подходят для повседневных игровых сценариев.

Обзоры Jafri R. (2025) и Cortese S. (2016) подчёркивают устойчивость HRV-сигнала к движениям и высокую воспроизводимость данных при использовании современных носимых сенсоров. HRV надёжно отражает состояние эмоциональной регуляции и готовности к когнитивной деятельности, что делает этот сигнал перспективным для игровых тренажёров. Исследования показывают, что мобильные HRV-игры эффективно формируют навыки расслабления и контроля возбуждения у детей и подростков при регулярных тренировках.

Сравнительный анализ рассмотренных ранее систем представлен в таблице 1. Ниже приведено обоснование выбранных критериев для сравнения:

- 1) специфичность к поведению (точность) – насколько сигнал отражает внимание/саморегуляцию;
- 2) время отклика – задержка между изменением сигнала и игровой реакцией;
- 3) аппаратные характеристики – количество каналов, тип датчиков, частота дискретизации;
- 4) устойчивость к артефактам – переносимость движений и шумов;
- 5) частота дискретизации – достаточность для регистрации целевых физиологических параметров;
- 6) протокол калибровки – время настройки и число сессий до устойчивого эффекта;
- 7) достоверность исследований – дизайн, выборка, контрольные группы;
- 8) удобство пользователя – комфорт, масса, скорость подготовки, вовлечённость ребёнка и длительность добровольных сессий;
- 9) необходимость специалиста – требование педагогического или технического сопровождения;

³ Потенциалы, связанные с событием, позволяет оценить работу мозга в плане его способностей, связанных со вниманием, памятью и обработкой информации.

10) воспроизводимость софта – открытость алгоритмов, возможность повторения экспериментов.

Таблица 4

Сравнение существующих игровых систем с биологической обратной связью (БОС) и без нее

Критерий	Игры с БОС		Игры без БОС
	ЭЭГ-игры	HRV/PPG-игры	
Точность	Высокая	Средняя	Не применяется
Время отклика	200-350 мс	1-3 с	Мгновенное
Устойчивость к артефактам	Низкая	Высокая	–
Калибровка	5-10 мин	2-3 мин	–
Достоверность	Есть RCT, большие N ⁴	Пилоты, RCT с малыми N ⁵	Не применяется
Удобство	Среднее	Высокое	Высокое
Необходимость специалиста	Да	Нет	Нет
Воспроизводимость софта	Низкая-средняя	Средняя-высокая	Очень высокая

ЭЭГ-игры обладают высокой специфичностью сигнала при правильно выполненной установке электродов, однако требуют неподвижности, тщательной подготовки и остаются чувствительными к артефактам движений. Это делает их подходящими преимущественно для исследовательских и клинических задач, но ограничивает массовое применение. HRV/PPG-

⁴ RCT с большими N — рандомизированное контролируемое исследование с большой выборкой, обеспечивающее высокую статистическую достоверность и возможность обобщения результатов на широкую популяцию.

⁵ RCT с малыми N — рандомизированное контролируемое исследование с небольшой численностью участников, предназначенное для первичной оценки эффективности или безопасности, с ограниченной статистической мощностью.

интерфейсы, напротив, устойчивы к движениям, не требуют сложной калибровки и обеспечивают высокую вовлечённость при сохранении достаточной надёжности данных. Игры без БОС позволяют оценить влияние исключительно игровых механик.

Субъективные параметры, включая мотивацию, объединены с критерием «Удобство», поскольку вовлечённость детей напрямую зависит от сложности подготовки оборудования. Надеть ЭЭГ-шлем значительно труднее, чем открыть приложение без БОС, однако такие игры не дают объективного эффекта саморегуляции. Поэтому мотивация не выделяется отдельно и учитывается в составе пользовательского удобства.

В сравнительную таблицу не были включены данные по поверхностной ЭМГ и электродермальной активности (EDA), поскольку в открытых источниках отсутствует достаточное количество валидированных пользовательских игровых решений, основанных на этих модальностях. Их использование ограничено медицинской диагностикой и небольшим числом экспериментальных прототипов, по которым отсутствуют сопоставимые данные об эффективности тренировки усидчивости или саморегуляции. В результате включение этих сенсоров привело бы к формальному и неинформативному сравнению, поэтому в таблицу добавлены только те модальности, для которых существует достаточный объём данных и коммерчески доступные игровые решения.

Полученные данные используются для проектирования будущего исследования по разработке HRV-игры. Каждый критерий статьи станет метрикой НИР.

HRV/PPG-интерфейсы являются наиболее практичной и устойчивой основой для создания игровых тренажёров усидчивости в массовых условиях. ЭЭГ остаётся важным инструментом научной валидации, но не подходит для регулярного применения из-за артефактов и требований к оборудованию.

Систематический обзор и сравнительный анализ дают основу для разработки и научного обоснования будущей игры, направленной на развитие саморегуляции у детей.

Библиографический список

1. Cortese S., Ferrin M., Brandeis D. и др. Neurofeedback for Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Meta-Analysis of Clinical and Neuropsychological Outcomes From Randomized Controlled Trials // PubMed. 2016.
2. Daniel-Watanabe L., Cook B., Leung G. Y. S. и др. Using a virtual reality game to train biofeedback-based regulation under stress conditions // Psychophysiology. 2024. Т. 62, № 1, article e14705.
3. Gao Y., Fang Y., Zhang C. и др. A hybrid sensor integrating surface electromyography and photoplethysmography for gesture recognition // IEEE. 2025.
4. Jafri R., Bin Ageef T. S., Al-Shahrani R. A. и др. Calma: A heart rate variability-based mobile biofeedback game for anxiety self-regulation. 2025.

5. Krigolson O., Williams C. C., Norton A. и др. Choosing MUSE: Validation of a low-cost, portable EEG system for ERP research. 2017.
6. Saitis C., Kalimeri K. Multimodal classification of stressful environments in visually impaired mobility using EEG and peripheral biosignals. 2018.
7. Skara D., Vanags E. Profiles of cognitive ability domains in children with and without ADHD symptoms // *Baltic Journal of Psychology*. 2022. Т. 23, № 1/2, с. 128–148.
8. Suades-González E., Forns J., García-Esteban R. и др. A longitudinal study on attention development in primary school children with and without teacher-reported symptoms of ADHD. 2017.
9. von Lüthmann A., Wabnitz H., Sander T. и др. МЗБА: A mobile, modular, multimodal biosignal acquisition architecture for miniaturized EEG-NIRS based hybrid BCI and monitoring // *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2016. Т. 64, № 6, с. 1199–1210.
10. Yates T., Sigwebela S., Seedat S., Milham M., du Plessis S., Abramson L., Niemiec E., Worthman C., Rotheram-Borus M. J., Salum G., Franco A., Zuanazzi A., Ahmed F., Gemmell K., Christodoulou J., Mhlaba N., Mqhele N., Ngalimane N., Sambudla A., Tottenham N., Tomlinson M. Investigative approaches to resilient emotion regulation neurodevelopment in a South African birth cohort // *ScienceDirect*. 2025.
11. ERIC Database. Attention and behavioral regulation in middle childhood: A review of current evidence. ERIC ED1485660. 2020.

© Решетникова Ю.Е., 2025

А.А. РОЖКИНА

cake15.ar@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент, З.И. ХАРИСОВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ КОЖНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ С ПОМОЩЬЮ МЕДИЦИНСКИХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

Аннотация: в статье представлен обзор современных решений на основе искусственного интеллекта для диагностики заболеваний кожи и их сравнительный анализ. Рассмотрены технологические подходы, клиническая эффективность, ограничения систем, а также перспективы развития в нескольких ключевых направлениях.

Ключевые слова: медицинские интеллектуальные системы; дерматология; диагностика кожных заболеваний; анализ медицинских изображений.

Стремительное развитие искусственного интеллекта (ИИ) в медицине привело к значительным достижениям в диагностике заболеваний кожи. Дерматологические заболевания требуют точного и своевременного выявления для эффективного лечения. Традиционные методы диагностики основаны на визуальном осмотре и биопсии, которые могут быть субъективными и занимать много времени. Интеллектуальные системы на основе ИИ повышают точность диагностики за счет использования алгоритмов машинного и глубокого обучения для анализа дерматологических изображений и клинических данных.

Заболевания кожи поражают миллионы людей по всему миру, а меланома является одной из самых смертоносных форм рака кожи. Ранняя и точная диагностика имеет решающее значение для улучшения результатов лечения пациентов. Нехватка дерматологов, особенно в сельской местности, а также различия в диагностическом опыте подчеркивают необходимость в автоматизированных диагностических инструментах. Системы на базе ИИ предлагают многообещающее решение, обеспечивая быструю и объективную оценку кожных поражений.

Согласно аналитическому докладу «Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении» (И.В. Толмачев и др., 2022), приложения на основе ИИ в дерматологии показали точность диагностики, сопоставимую с точностью сертифицированных дерматологов, что делает их ценными инструментами для постановки предварительного диагноза [1].

Разработано несколько систем на основе ИИ, некоторые из них:

1. DermAssist (Google Health), которая использует свёрточные нейронные сети (CNN) для классификации кожных заболеваний по изображениям и

обеспечивает высокую точность при различении злокачественных и доброкачественных образований. Однако система ограничена только анализом изображений и требует высококачественных входных данных [2];

2. IBM Watson Health для дерматологии, которая сочетает распознавание изображений с анализом электронных медицинских карт (EHR), обеспечивает дифференциальную диагностику на основе клинических и визуальных данных и поддерживает принятие решений. Но такая система обладает высокой вычислительной стоимостью и зависит от структурированных данных EHR [3];

3. SkinVision – удобное для пользователя мобильное приложение, использующее ИИ для оценки риска развития меланомы при поражениях кожи, доступно для раннего скрининга. Оно имеет более низкую точность по сравнению с клиническими инструментами и не может заменить профессиональную диагностику [4];

4. DeepDerm (исследовательский проект Стэнфордского университета) – модель глубокого обучения, обученная на тысячах дерматоскопических изображениях, имеет высокую диагностическую эффективность, подтвержденную исследованиями. Однако модель требует проверки на различных группах населения [5];

5. FotoFinder (ATBM Master) – это профессиональная система дерматоскопии с ИИ, используемая в клиниках. Она анализирует изображения кожи под увеличением и автоматически оценивает риск злокачественности. Имеет высокую точность в диагностике меланомы и включает функцию отслеживания динамики изменений. Недостатками системы являются дорогостоящее оборудование, требование обучения для работы и невозможность домашнего использования [6];

6. VisualDx (DermExpert) – диагностическая система на основе ИИ, которая помогает врачам дифференцировать кожные заболевания. Базируется на клинических данных и изображениях, предлагая возможные диагнозы. Система подходит для сложных и редких заболеваний, используется в клинической практике и содержит постоянно обновляемую базу. Однако требует ручного ввода симптомов, не полностью автоматизирована и стоимость подписки для частных пользователей достаточно дорогая [7].

Сравнительный анализ ИИ-систем для диагностики заболеваний кожи приведен в табл. 1.

В табл. 2 приведены примерные данные, которые основаны на открытых технических характеристиках систем. Таблица составлена на основе официальных заявлений разработчиков (Google Health, IBM), клинических исследований (тесты DeepDerm в Nature Medicine) и FDA/CE сертификаций (ограниченные показания к применению). Однако полностью верных данных нет, так как производители редко раскрывают полные списки распознаваемых заболеваний, точность диагностики варьируется в зависимости от типа кожи, а системы постоянно обновляются.

Таблица 1

Сравнительный анализ ИИ-систем для диагностики кожных заболеваний

Система	Технология	Точность	Преимущества	Ограничения
DermAssist (Google Health)	CNN-анализ изображений	~90%	Масштабируемо сть, мобильность	Требует высокого качества изображений
IBM Watson Health	Мультимодальны й ИИ + EHR	~85–90%	Интеграция с клиническими данными	Сложность внедрения и высокая стоимость
SkinVision	Мобильное приложение, основанное на ИИ	~80–85%	Удобство использования	Только для предваритель ной оценки
DeepDerm	Глубокое обучение	~92–95%	Высокая точность, научная база	Ограниченно е тестирование
FotoFinder (ATBM Master)	Дерматоскопия + ИИ	~88–93%	Профессиональн ая диагностика, динамический анализ	Дорогое оборудовани е, требует обучения
VisualDx (DermExpert)	Дифференциальн ая диагностика (ИИ + база данных)	~85–90%	Поддержка редких заболеваний, обновляемая база	Требует ручного ввода симптомов, дорогая подписка

Таблица 2

Сводная таблица по возможностям диагностики основных заболеваний
кожи в различных ИИ-системах

Заболевание	Derm Assist	IBM Watson Health	SkinVision	DeepDerm	FotoFinder	VisualDx
Акне	-	+	-	+	+	+
Атопический дерматит	-	+	-	+	+	+
Базалиома	+	+	+	+	+	+
Витилиго	-	+	-	+	+	+
Герпес	-	+	-	-	+	+
Дерматофития (стригущий лишай)	-	+	-	+	+	+
Контактный дерматит	-	+	-	+	+	+
Крапивница	-	+	-	-	+	+
Красный плоский лишай	-	+	-	+	+	+
Меланома	+	+	+	+	+	+
Опоясывающий лишай	-	+	-	-	+	+
Псориаз	-	+	-	+	+	+
Рак кожи (плоскоклеточный)	+	+	+	+	+	+
Розацеа	-	+	-	+	+	+
Себорейный дерматит	-	+	-	+	+	+
Склеродермия	-	+	-	-	+	+
Угри	-	+	-	+	+	+
Экзема	-	+	-	+	+	+
Эпидермофития стоп	-	+	-	+	+	+
Чесотка	-	+	-	-	+	+

Можно сделать выводы о том, что DermAssist и SkinVision специализируются преимущественно на раковых поражениях кожи, IBM Watson Health и VisualDx имеют наиболее широкий охват благодаря интеграции с клиническими базами данных, FotoFinder демонстрирует высокие показатели благодаря комбинации ИИ с дерматоскопическим оборудованием, DeepDerm показывает хорошие результаты для воспалительных заболеваний в академических исследованиях.

Современные тенденции в области искусственного интеллекта для дерматологической диагностики демонстрируют несколько ключевых направлений развития. Одним из наиболее перспективных подходов является создание мультимодальных ИИ-систем, способных анализировать комплекс медицинских данных. Такие системы будут интегрировать визуальную информацию (дерматоскопические и клинические фотографии), геномные данные пациента (анализ генетических маркеров предрасположенности к кожным заболеваниям) и полную историю болезни из электронных медицинских карт. Например, система IBM Watson Health уже сейчас демонстрирует возможности комбинированного анализа дерматоскопических изображений с текстовыми данными из медицинских записей. По данным исследований, такой комплексный подход позволяет повысить точность диагностики до 97–99%, однако требует решения проблемы стандартизации разнородных медицинских данных.

Значительное внимание уделяется разработке Edge AI решений для мобильной диагностики. Эти технологии позволяют осуществлять обработку медицинских изображений непосредственно на мобильных устройствах без необходимости подключения к облачным сервисам. Современные реализации, такие как приложение SkinVision или дерматоскоп DermEngine, используют оптимизированные версии нейронных сетей (MobileNet, TinyML), что обеспечивает время обработки изображения в пределах 50-100 мс. Основное преимущество подобных решений – возможность работы в полевых условиях, однако они требуют тщательной оптимизации алгоритмов для эффективной работы на мобильных процессорах.

Особое значение приобретает развитие технологий объяснимого искусственного интеллекта (XAI). В клинической практике крайне важно, чтобы врачи понимали логику, по которой система принимает диагностические решения. Современные методы, такие как градиентные карты активации (Grad-CAM), LIME-анализ и SHAP-значения, позволяют визуализировать «зоны внимания» алгоритма на медицинских изображениях и ранжировать диагностические критерии по степени их значимости. Разработка MIT под названием DermExplainer демонстрирует возможности создания интерактивных диагностических отчетов, которые значительно повышают доверие медицинских специалистов к ИИ-системам.

Важнейшим направлением развития является создание глобальных коллабораций для совершенствования алгоритмов. Международные проекты, такие как ISIC Archive (содержащий более 100 тысяч изображений) и DermNet

NZ, позволяют учитывать этнические вариации проявления кожных заболеваний. Особенно перспективной технологией представляется федеративное обучение, реализованное, например, в проекте Melanoma Project с участием 30 стран. Такой подход уже сейчас позволяет снизить ошибки диагностики для темных фототипов кожи на 40% и в целом повысить точность диагностики до 95-98%.

Интеллектуальные системы на основе ИИ для диагностики заболеваний кожи демонстрируют значительный потенциал в повышении точности и доступности диагностики. Несмотря на то, что существующие решения различаются по производительности и применимости, продолжающиеся разработки в области глубокого обучения и интеграции данных еще больше повысят их клиническую ценность. Однако для обеспечения широкого внедрения необходимо решать такие проблемы, как одобрение регулирующих органов, этические соображения и разнообразие наборов данных.

Библиографический список

1. Толмачев, И.В. Искусственный интеллект в медицине и здравоохранении: аналитический доклад / И.В. Толмачев, И.С. Каверина, М.О. Плешков [и др]. – Томск: СибГМУ, 2022. – 94 с.
2. Google Health: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://health.google/> (дата обращения: 07.04.2025).
3. IBM Watson Health: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ibm.com/products> (дата обращения: 07.04.2025).
4. SkinVision: система диагностики кожных заболеваний [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.skinvision.com/> (дата обращения: 07.04.2025).
5. Diagnosing skin diseases with deep learning: отчет о проекте [Электронный ресурс]. – URL: https://cs230.stanford.edu/projects_fall_2019/reports/26261147.pdf (дата обращения: 07.04.2025).
6. FotoFinder Systems GmbH: официальный сайт [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fotofinder.de/> (дата обращения: 07.04.2025).
7. VisualDx: клиническая система поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.visualdx.com/> (дата обращения: 07.04.2025).

© Рожкина А.А., 2025

ТРЕБОВАНИЯ К МЕДИЦИНСКИМ ПРОГРАММНЫМ ПРОДУКТАМ

Аннотация: в статье рассматриваются требования к медицинскому программному продукту, валидация требований к медицинскому программному продукту, верификация требований к медицинскому программному продукту.

Ключевые слова: медицинское программное обеспечение; разработка программного обеспечения.

В последние годы сфера здравоохранения Российской Федерации переживает масштабную цифровую трансформацию. Внедрение информационных технологий в медицинскую практику является устойчивым трендом, обусловленным потребностью в повышении качества и доступности медицинской помощи, оптимизации управленческих процессов и снижении издержек системы здравоохранения.

В стратегии цифровой трансформации отрасли «Здравоохранение» до 2024 года на плановый период до 2030 года, которая является третьей волной цифровизации отрасли здравоохранения, основное внимание уделено 4 крупным проектам: продолжение создания «ЕГИСЗ», создание и внедрение специализированных вертикально интегрированных информационных систем по профилям оказания медицинской помощи «ВИМИС», создание национальной цифровой платформы «Здоровье», создание и внедрение персональных медицинских помощников. На внедрение ЕГИСЗ с 2021-2024 год было рассчитано выделить 47 861 млн. руб., на проект «ВИМИС» на этот же период уходило 2628,6 млн. руб.

Хочется вспомнить как развитие и внедрение государственных информационных систем (региональных сервисов) было выделено в 2019 г. – 14,8 млрд. руб., в 2020 г. – 20,7 млрд. руб., в 2021 г. – 12,1 млрд. руб. На медицинские информационные системы медицинских организаций в 2019 г. было выделено 11,1 млрд. руб., в 2020 г. – 31,9 млрд. руб., в 2021 г. – 12,1 млрд. руб. Это значительные суммы, которые сравнимы с инвестициями в рамках первой волны информатизации в период программы модернизации здравоохранения 2011–2014 гг. (рис. 1) [1].

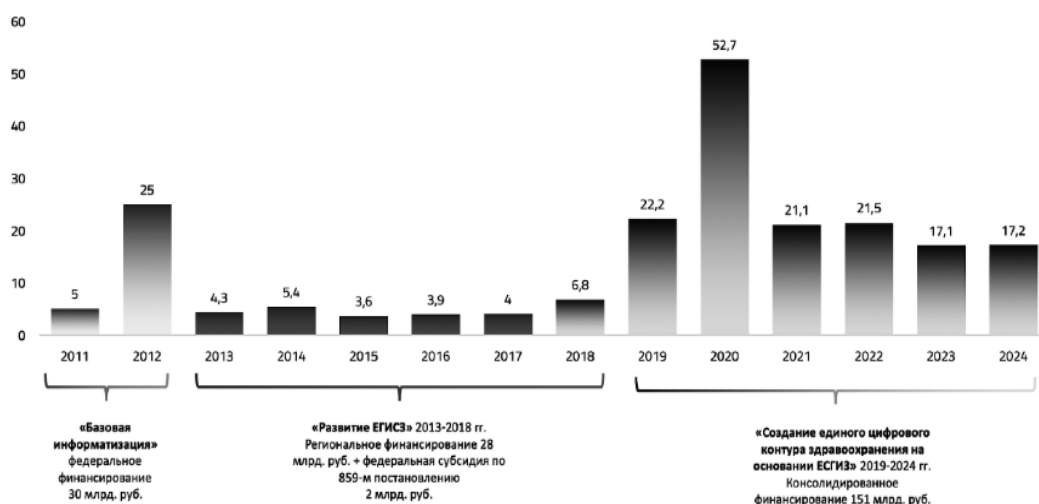


Рис. 1. Государственное финансирование информатизации здравоохранения России 2011–2024 гг.

Программное обеспечение, предназначенное для применения в медицине и здравоохранении, согласно статье 38 323-ФЗ является программным медицинским изделием (ПМИ), и соответственно подлежат государственной регистрации. Особенно здесь стоит подчеркнуть, что согласно формулировке запрещён весь оборот медицинских изделий (МИ), если он не включен в государственный реестр медицинских изделий. Здесь есть исключение, которое регламентируется постановлением Правительства РФ от 01.09.2020 №1335, и оно гласит что от регистрации освобождены МИ, которые предназначены для использования на территории международного медицинского кластера или на территориях инновационных научно-технических центров. Государственный контроль за обращением МИ осуществляется Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения – Росздравнадзором. Для регистрации медицинского программного обеспечения (МПО) оно должно удовлетворять нормативным требованиям. Особое внимание при регистрации уделяется безопасности и защищенности медицинских программным продуктам.

Общие требования к медицинскому программному обеспечению изложены в стандарте ГОСТ Р МЭК 82304-1–2019. Под действие данного стандарта не попадает программное обеспечение специализированных систем, таких как лабораторные установки *in vitro*, или аппаратных комплексов. Особое внимание в нем выделяется безопасности и защищенности продуктов программного обеспечения в области здравоохранения, разработанных для использования на вычислительных платформах общего назначения и предназначенных для выпуска в продажу без специального оборудования [2].

Согласно этому стандарту, разработчик МПО определяет и документирует предусмотренное применение МПП, платформу использования, параметры, взаимосвязанные с защищенностью и безопасностью, способ распространения ПО и его дальнейшее обслуживание, которое должно предусмотреть и вывод программы из эксплуатации. Относительно пользователя, разработчику

рекомендуется обратить внимание на пользовательский интерфейс, риск непреднамеренного влияния и защищенность конфиденциальных данных.

Отдельное внимание разработчика стандарт уделяет эксплуатационным документам. Эксплуатационные документы должны содержать контактную информацию изготовителя, идентификаторы МПО, руководство пользователя и техническое описание. Разработчик обязан указать необходимые навыки и знания пользователя или ответственной организации для эксплуатации ПО, аппаратные ограничения и особенности. Руководство пользователя должно описывать все, что необходимо для правильной эксплуатации медицинского программного обеспечения, начиная с установки программного обеспечения, её предусмотренное пользование, обновления и удаления. Также руководство пользователя может включать в себя краткое описание медицинского программного продукта, известные технические проблемы и пути их решения.

Верификацию требований должен проводить изготовитель, а результаты верификации обязаны быть запротоколированы. Изготовитель может обновлять требования в процессе верификации или валидации требований [3].

Стандарт выделяет системные требования, которые обеспечивают ожидаемое функционирование программного продукта при целевом использовании и при необходимости его локальные конфигурации, в особенности – средства для обнаружения и регистрации нарушений защищенности, средства для защиты при нарушении защищенности ПО, средства для восстановления ПО [4].

Таким образом основными требованиями к медицинским программному обеспечению, предоставляемому в качестве самостоятельного продукта (товара), составляет защищенность, безопасность и эффективность программных продуктов.

Библиографический список

1. Гусев А.В., Плисс М.А., Левин М.Б., Новицкий Р.Э. Тренды и прогнозы развития медицинских информационных систем в России.
2. ГОСТ Р МЭК 82304-1-2019. Медицинское программное обеспечение. Часть 1. Общие требования к безопасности программных продуктов.
3. ГОСТ Р 58976-2020. Изделия медицинские. Программное обеспечение. Часть 2. Валидация программного обеспечения, используемого в системах качества медицинских изделий.
4. ГОСТ Р 56849 – 2015. Информатизация здоровья. Руководства по стандартам безопасности медицинского программного обеспечения.

© Романов Д.А., 2025

Н.В. РУЗАНОВА
nineli48@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАН ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация: в статье представлена методика проектирования устройства для лечения ран отрицательным давлением, разработанная в соответствии с положениями ГОСТ 15.013–2016 «Система разработки и постановки продукции на производство». Установлены медико-технические требования к изделию, его назначение, определены функциональные характеристики и проведена оценка рисков отказа функциональных характеристик изделия.

Ключевые слова: отрицательное давление; лечение ран; ГОСТ 15.013.

Специфика проектирования медицинских устройств определяется несколькими факторами. Во-первых, необходимо учитывать особенности биологического объекта, который подвергается терапии. Во-вторых, необходимо задать требования безопасности биологического объекта и оператора, управляющего медицинским устройством (медицинского работника). Требования по безопасности, в основном, включают в себя электрическую безопасность, механическую безопасность, биологическую безопасность, надежность и соответствие требованиям по упаковке и маркировке.

В нашей стране проектирование медицинских изделий регламентируется несколькими основными нормативно-правовыми документами. Рассмотрим методику проектирования медицинских изделий согласно ГОСТ 15.013 «Система разработки и постановки продукции на производство» на примере разрабатываемого изделия – «Устройства для лечения ран отрицательным давлением».

ГОСТ 15.013 устанавливает содержание медико-технических требований применительно к проектируемому изделию [1]:

1. Установим наименование и область применения изделия.

Наименование – «Устройство для лечения ран отрицательным давлением».

Область применения – отделения гнойной хирургии, для применения только сертифицированным персоналом.

2. Установим цель и назначение разработки.

Основной целью разрабатываемого «Устройства для лечения ран отрицательным давлением» является проведение лечения ран, острых и хронических, путем удаления экссудата, обеспечивающее стимулирование

кровотока, пролиферацию клеток и поддержание влажной раневой среды без образования сухой грануляционной ткани.

Назначение изделия – «Устройство для лечения ран отрицательным давлением» должно поддерживать уровень отрицательного давления в заданных диапазонах, обеспечивать процесс непрерывного удаления воспалительной жидкости с поверхности раны, контролировать сбор экссудата в контейнер и визуально и с помощью звука оповещать медицинский персонал о выходе параметров за установленные пределы.

Ожидаемым медицинским эффектом будет являться ускорение заживления раны и снижение вероятности риска возникновения осложнений.

Ожидаемым техническим эффектом будет являться поддержание уровня отрицательного давления в определяемых пределах, автоматический контроль за установленными параметрами давления и заполнением контейнера.

Ожидаемым экономическим эффектом будет являться снижение количества времени пребывания пациента в стационаре, что уменьшит расходы в пересчете на койко-дни. Также применение подобной терапии позволит отказаться от более дорогостоящих аналогов лечения и снизит уровень трат на лекарственную терапию или вовсе поспособствует отказу от нее.

3. Установим медицинские требования к изделию.

3.1. Проектируемое «Устройство для лечения ран отрицательным давлением» должно соответствовать ряду требований к выполнению своего функционала: поддержание уровня отрицательного давления в пределах от 0 до -200 мм.рт.ст, контролирование уровня отрицательного давления с помощью двух датчиков давления – для верхнего и нижнего пределов, уровня заполненности контейнера для сбора экссудата, визуальное и звуковое оповещения с помощью экрана и динамика медицинского персонала о выходе параметров за установленные пределы.

Проведем оценку последствий нарушения изделием своего функционала с медицинской точки зрения. Результаты представим в виде таблицы 1.

Проведем анализ и составим классификацию последствий нарушения устройством своего функционала по степени риска. Результаты представим в виде таблицы 2.

Проведенный анализ функциональных возможностей и рисков, связанных с их отказом, позволяет сформировать требования к безопасности при отказах:

- в случае отказа насоса или падении уровня давления ниже установленного предела, автоматически должно включаться звуковое и световое оповещение, а также отправляться сигнал на компьютер медицинского персонала;

- при превышении установленного нижнего предела отрицательного давления устройство должно автоматически отключаться до корректирования параметров терапии или устранения неисправности.

Таблица 1

Оценка последствий нарушения изделием своего функционала

№ п/п	Нарушение функционала	Причина	Следствие
1	Остановка подачи отрицательного давления	Отказ насоса, обрыв дренажной трубки (механический)	Замедление процесса заживления, накопление воспалительной жидкости, повышение риска развития бактериальной нагрузки
2	Избыточный уровень отрицательного давления	Сбой программы, сбой микроконтроллера, отказ датчика давления	Повреждение грануляционной ткани, кровотечение, болевые ощущения у пациента
3	Отсутствие сигнального оповещения об ошибке	Отказ датчика давления, отказ звуковой сигнализации, отказ световой индикации	Отсутствие корректирования параметров терапии, ухудшение состояния больного
4	Отсутствие подачи питания	Сбой в сети	Накопление воспалительной жидкости, повышение риска инфицирования раны

Таблица 2

Классификация последствий нарушения устройством своего функционала
по степени риска

Последствия	Описание последствий	Пример нарушений
Пренебрежимо малые	Не приводят к повреждению тканей пациента, не влияют на результат терапии	Ложное срабатывание датчиков
Незначительные	Могут вызвать неудобство или дискомфорт пациента, не требуют медицинского вмешательства	Кратковременная остановка работы насоса, отсутствие срабатывания датчика заполнения контейнера
Значительные	Могут вызвать временное ухудшение состояния пациента, требуют медицинского вмешательства	Отсутствие срабатывания звуковой/световой индикации, кратковременное избыточное давление, длительная остановка работы насоса
Критические	Угрожают здоровью и жизни пациента	Неконтролируемый уровень отрицательного давления, длительное избыточное давление

3.2. Установим число обслуживаемых пациентов и пропускную способность изделия.

У проектируемого изделия процесс лечения может проходить одновременно только у одного человека. Но в сутки при разделении терапии устройство может обслуживать до 2-3 пациентов при условии кратковременности терапии и замене расходных материалов.

Пропускная способность проектируемого устройства характеризуется количеством циклов лечения в сутки. При средней длительности терапии в 6 часов определим пропускную способность по формуле 1:

$$N = \frac{24}{6} = 4 \quad (1)$$

Итого получается, что пропускная способность проектируемого «Устройства для лечения ран отрицательным давлением» составляет 4 цикла терапии.

3.3 Установим требования к средствам установки, контроля и регулирования режимов работы проектируемого устройства:

- устройство должно иметь оснащение в виде встроенных средств задания, измерения, отображения и регулирования параметров терапии;
- установка параметров терапии должна осуществляться через панель управления (экран компьютера медицинского персонала);
- устройство должно обеспечивать сохранение установленных параметров терапии после отключения питания и восстановление режима терапии при повторном включении;
- установка параметров должна исключать возможность установления значений отрицательного давления, выходящих за пределы установленных диапазонов для исключения злонамеренного воздействия или человеческого фактора;
- контроль за параметрами давления, состояния работы устройства, уровнем экссудата должен осуществляться в реальном времени;
- после корректирования параметров терапии или устранения неисправности сработавшая сигнализация должна автоматически сбрасываться.

3.4 Установим требования к средствам отображения и регистрации медико-биологической информации проектируемого устройства:

- устройство должно обеспечивать визуальное отображение и сохранение параметров терапии (при необходимости);
- средство отображения информации (дисплей) должно обеспечивать читаемость, достоверность и однозначность информации, воспринимаемой персоналом, а выводимая информация должна отображаться на русском языке и соответствовать медицинской технологии и установленным государственным единицам измерения;
- яркость и контрастность световой индикации должна обеспечивать ее разборчивую интерпретацию при любом освещении, включая затемненные помещения или помещения с естественным освещением без средства затемнения;
- интерфейс световой индикации устройства должен соответствовать общепринятой дифференции состояний: красный – аварийная ситуация, желтый – предупреждение, зеленый – адекватное функционирование.

3.5 Установим требования к порядку взаимодействия между медицинским персоналом и пациентом в период проведения терапии:

- медицинский персонал должен перед применением устройства обеспечить правильную подготовку раны – остановку кровотечения и очищение раны, правильную установку губки, наклеивание инцизной пленки и установку дренажного порта;

- медицинский персонал должен в течение проведения терапии обеспечить установку параметров терапии, наблюдение за пациентом и его состоянием, регистрацию терапии в медицинской карте пациента;

- медицинский персонал должен после окончания терапии отключить устройство и провести его обслуживание – дезинфекция, замена расходных материалов и контейнера для эксудата;

- пациент во время терапии обязан не нарушать целостности конструкции – не снимать повязку и не перемещать дренажные трубки, сообщать медицинскому персоналу о любом дискомфорте, неприятных ощущениях или болевом синдроме, вызванными терапией, соблюдать требования по ограничению подвижности, установленными медицинским персоналом.

Таким образом, была разработана методика проектирования «Устройства для лечения ран отрицательным давлением» в соответствии с положениями ГОСТ 15.013 «Система разработки и постановки продукции на производство. Медицинские изделия». Были установлены медико-технические требования к проектируемому изделию, его назначение, определены функциональные характеристики и проведена оценка рисков отказа функциональных характеристик устройства.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 15.013–2016. Система разработки и постановки продукции на производство. Медицинские изделия. – М., 2016.

© Рузанова Н.В., 2025

Н.В. РУЗАНОВА
nineli48@gmail.com

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

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ВНЕШНЕЙ И ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫВОДЕ НА РЫНОК АППАРАТА ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ РАН ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация: в данный момент российский рынок нуждается в аппарате, реализующем эффективную методику лечения ран. В статье приведен анализ факторов внешней и внутренней среды, оказывающих влияние на производство, и определены действия по минимизации последствий изменений рынка в рассматриваемом временном периоде.

Ключевые слова: аппарат вакуумной терапии, отрицательное давление, PESTLE-анализ.

Аппарат для лечения ран отрицательным давлением является перспективной разработкой в наше время ввиду своей клинической и экономической эффективности. Его использование позволяет ускорить процесс заживления и сократить время нахождения пациента в медучреждении, что положительно скажется как на больном, так и на учреждении здравоохранения. Существующие на данный момент на российском рынке аппараты не могут обеспечить непрерывный мониторинг за состоянием пациента, поэтому актуальной остается проблема отсутствия эффективной терапии ран.

Анализ факторов внешней и внутренней среды при выводе на рынок аппарата для лечения ран отрицательным давлением необходим для того, чтобы определить основные проблемы, с которыми может столкнуться производство в рассматриваемом временном периоде, исходя из состояния мировой обстановки. Для этого воспользуемся таким инструментом, как PESTLE-анализ – анализ факторов политической (P), экономической (E), социально-культурной (S), технологической (T), правовой (L) и экологической (E) среды.

Будем рассматривать вероятностные изменения во временном периоде примерно трех-пяти лет. Методика анализа заключается в следующем [1]:

1. Необходимо определить факторы каждой из категорий:

1.1. Политические факторы:

- Ограничения в отрасли радиоэлектронной продукции (РЭП) – связаны с введением новых постановлений, которые не только ограничивают продукцию иностранного производства, но и вводят новые правила для российских производителей – списки товаров запрета и ограничения по

общероссийскому классификатору продукции (ОКПД) и необходимость наличия записи в реестре государственной информационной продукции (ГИСП) [2].

- Государственная поддержка отечественных производителей – связаны с наличием таких программ как «Развитие здравоохранения» [3], «Новые технологии сбережения здоровья» [4], выдача льготных кредитов в рамках программы импортозамещения по распоряжению №711-р [5].

- Таможенная политика – связана с увеличением пошлин на импорт компонентов иностранного производства.

1.2. Экономические факторы:

- Уровень финансирования бюджетных медицинских организаций – связан с изменениями расходов на здравоохранение в рамках нацпроектов, программах импортозамещения медицинских изделий, возможности появления государственных заказов.

- Уровень затрат на логистику – связан с ростом цен на перевозку в связи с повышением расходов на топливо и нехваткой кадров у водителей, увеличение сроков доставки и затрат на таможенное оформление в связи с нестабильной экономической ситуацией.

- Уровень экономической ситуации в стране – связан с колебаниями валютного курса, изменением уровня инфляции в стране, возможным изменением налоговой нагрузки или льгот для производителей медицинского оборудования в будущем.

1.3. Социально-культурные факторы:

- Уровень развития здравоохранения – связан с тенденциями цифровизации медицины, ориентацией на повышение стандартов качества и безопасности лечения, рост влияния частного сектора в области здравоохранения.

- Возрастная структура населения – связана с отрицательным естественным приростом населения в последние годы и, соответственно, увеличению доли пожилых людей в будущем по данным Росстата [6].

- Уровень жизни и доходов населения – связан со снижением доходов населения в регионах, расширением практики добровольного медстрахования.

1.4. Технологические факторы:

- Расходы на производство – связаны с ростом стоимости сырья и компонентов, увеличением стоимости контрактного производства, с тенденциями на повышение стандартов к производственным процессам.

- Расходы на регистрацию медицинских изделий (МИ) – связаны с частыми изменениями политики Росздравнадзора в области регистрации медизделий, адаптациями ресурсов под цифровизацию процессов, расширением требований к документации.

– Уровень инноваций в медицинской отрасли – связан с ростом требований к уровню цифровых технологий, быстрым устареванием технологий, ростом числа стартапов и возрастанием интереса к венчурному финансированию [7].

1.5. Правовые факторы:

– Нормативно-правовая база регистрации МИ – связаны с недавним изменением процедуры регистрации по новому постановлению [8,9], изменением или отменой существующих ГОСТов.

– Соответствие стандартам и нормативам – связан с тенденцией совершенствования системы требований к безопасности, эффективности и качеству медицинских изделий [10], возможным изменениям в стандартах электробезопасности.

– Требования к клиническим исследованиям – связаны с требованиями к процедуре клинических испытаний, необходимостью проведения доклинических исследований, долгой процедурой порядка рассмотрения обращений Этическим комитетом, с процедурой регистрации пациентов на испытания.

1.6. Экологические факторы:

– Требования к безопасности материалов – связаны с требованиями по использованию биосовместимых, нетоксичных и безопасных материалов, пригодных для дальнейшей переработки.

– Экологические тренды к устойчивому здравоохранению – связаны с возросшим мировым интересом на применение в производстве еще более экологически чистых материалов и адаптации процесса производства на безопасные источники энергии.

– Требования законодательства в области экологии – связаны с требованиями национальных стандартов по экологической безопасности.

2. Далее определим влияние фактора на ситуацию:

- 1 – слабое влияние, изменения почти не оказывают влияния;
- 2 – среднее влияние, влияние только при сильном изменении фактора;
- 3 – сильное влияние, любое изменение фактора оказывает влияние.

Результаты анализа представлены в табл. 1.

3. Определим относительное влияние факторов с учетом вероятности изменения фактора и воздействия суммы факторов. Для этого определим экспертную оценку вероятности изменения фактора: 1 – вероятность изменения фактора в пределах 0–20%; 2 – вероятность изменения фактора в пределах 20–40%; 3 – вероятность изменения фактора в пределах 40–60%; 4 – вероятность изменения фактора в пределах 60–80%; 5 – вероятность изменения фактора в пределах 80–100%.

Затем произведем подсчет относительного влияния факторов как частного влияния фактора на экспертную оценку и общего влияния факторов. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 1

Влияние факторов на ситуацию

Описание фактора	Влияние фактора	Описание фактора	Влияние фактора	Описание фактора	Влияние фактора
Р-ФАКТОРЫ		Е-ФАКТОРЫ		S-ФАКТОРЫ	
Ограничения в отрасли РЭП	3	Уровень финансирования бюджетных мед. организаций	3	Уровень развития здравоохранения	2
Гос. поддержка отечественных производителей	2	Уровень затрат на логистику	2	Возрастная структура населения	1
Таможенная политика	2	Уровень экономической ситуации в стране	3	Уровень жизни и доходов населения	2
Т-ФАКТОРЫ		L-ФАКТОРЫ		Е-ФАКТОРЫ	
Расходы на производство	2	Нормативно-правовая база регистрации МИ	3	Требования к безопасности материалов	2
Расходы на регистрацию МИ	3	Соответствие стандартам и нормативам	3	Экологические тренды к устойчивому здравоохранению	1
Уровень инноваций в медицинской отрасли	1	Требования к клиническим исследованиям	3	Требования законодательства в области экологии	3

Таблица 2

Относительное влияние факторов на ситуацию

Фактор		Влияние фактора	Эксп. оценка вер-ти изменения фактора	Относит. влияние факторов
Р	Ограничения в отрасли РЭП	3	4	0,29
	Гос. поддержка отечественных производителей	2	1	0,05
	Таможенная политика	2	3	0,15
Е	Уровень финансирования бюджетных мед. организаций	3	3	0,22
	Уровень затрат на логистику	2	4	0,20
	Уровень экономической ситуации в стране	3	3	0,22
S	Уровень развития здравоохранения	2	3	0,15
	Возрастная структура населения	1	1	0,02
	Уровень жизни и доходов населения	2	3	0,15
Т	Расходы на производство	2	4	0,20
	Расходы на регистрацию МИ	3	3	0,22
	Уровень инноваций в медицинской отрасли	1	2	0,05
L	Нормативно-правовая база регистрации МИ	3	5	0,37
	Соответствие стандартам и нормативам	3	5	0,37
	Требования к клиническим исследованиям	3	4	0,29
Е	Требования к безопасности материалов	2	2	0,10
	Экологические тренды к устойчивому здравоохранению	1	3	0,07
	Требования законодательства в области экологии	3	3	0,22
ОБЩИЙ ИТОГ		41	56	

4. Распределим получившиеся значения по убыванию весового влияния факторов. Чем больше вес – тем большее влияние оказывает фактор и тем больше внимания необходимо проявлять к его изменению. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Распределение веса факторов

Фактор	Вес	Фактор	Вес	Фактор	Вес
Р-ФАКТОРЫ		Е-ФАКТОРЫ		С-ФАКТОРЫ	
Ограничения в отрасли РЭП	0,29	Уровень финансирования бюджетных мед. организаций	0,22	Уровень развития здравоохранения	0,15
Таможенная политика	0,15	Уровень экономической ситуации в стране	0,22	Уровень жизни и доходов населения	0,15
Гос. поддержка отечественных производителей	0,05	Уровень затрат на логистику	0,20	Возрастная структура населения	0,02
Т-ФАКТОРЫ		Л-ФАКТОРЫ		Е-ФАКТОРЫ	
Расходы на регистрацию МИ	0,22	Нормативно-правовая база регистрации МИ	0,37	Требования законодательства в области экологии	0,22
Расходы на производство	0,20	Соответствие стандартам и нормативам	0,37	Экологические требования к безопасности материалов	0,10
Уровень инноваций в медицинской отрасли	0,05	Требования к клиническим исследованиям	0,29	Экологические тренды к устойчивому здравоохранению	0,07

5. Проанализируем получившуюся ситуацию, определив порядок на производстве при появлении изменений в отрасли. Результаты представим в табл.4.

Таблица 4

Изменения в производстве

Фактор	Изменения в производстве
ПОЛИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ (Р-ФАКТОРЫ)	
Ограничения в отрасли РЭП	Переход на использование компонентов отечественного производства, регистрация в государственной информационной системе промышленности
Гос. поддержка отечественных производителей	Отслеживание государственных программ поддержки и изменений в нормативно-правовой базе
Таможенная политика	Сотрудничество с отечественными производителями компонентов и использование их производственных мощностей
ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ (Е-ФАКТОРЫ)	
Уровень финансирования бюджетных мед. организаций	Отслеживание трендов в области здравоохранения, участие в государственных программах и конференциях для повышения спроса и поддержания интереса к продукту
Уровень затрат на логистику	Замена поставщиков материалов и компонентов на отечественных или поиск более близко расположенных производств, либо необходимость закладывать риски в стоимость устройства
Уровень экономической ситуации в стране	Выстраивание контактов с отечественными производителями, поиск решений по снижению себестоимости продукта, работа с конечными пользователями
СОЦИАЛЬНО-КУЛЬТУРНЫЕ ФАКТОРЫ (С-ФАКТОРЫ)	
Уровень развития здравоохранения	Внедрение в устройство дополнительных технологий - беспроводной связи, приложений для смартфона, возможности непрерывного мониторинга хода лечения от врача, переносное исполнение устройства

Возрастная структура населения	Ориентирование на основной пласт больных -пожилых людей
Уровень жизни и доходов населения	Работа с региональными представителями здравоохранения, работа с частными компаниями и представителями страховых организаций
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ (Т-ФАКТОРЫ)	
Расходы на производство	Поиск путей оптимизации производства через его автоматизацию, локализацию и унификацию
Расходы на регистрацию МИ	Отслеживание изменений в области законодательства и своевременное реагирование, использование модельного подхода, автоматизировать процессы подготовки документации
Уровень инноваций в медицинской отрасли	Привлечение специалистов R&D, интегрирование с цифровыми медицинскими системами, мониторинг конкурентов
ПРАВОВЫЕ ФАКТОРЫ (Л-ФАКТОРЫ)	
Нормативно-правовая база регистрации МИ	Отслеживание изменений в области законодательства и своевременное реагирование
Соответствие стандартам и нормативам	Отслеживание изменений в области законодательства и своевременное реагирование
Требования к клиническим исследованиям	Отслеживание изменений в области законодательства и своевременное реагирование
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ (Е-ФАКТОРЫ)	
Экологические требования к безопасности материалов	Использование в производстве расходных материалов к медицинскому изделию биоразлагаемых видов пластика и материалов, пригодных к переработке
Экологические тренды к устойчивому здравоохранению	Внедрение в производство системы сортировки и переработки отходов, а не простая их утилизация
Требования законодательства в области экологии	Отслеживание изменений в области законодательства и своевременное реагирование

Таким образом, были определены факторы внешней и внутренней среды, оказывающие влияние на производство аппарата для лечения ран отрицательным давлением, и определены действия, позволяющие минимизировать возможные риски и повысить уровень адаптируемости к внешним условиям.

Библиографический список

1. Калугин, В.В. Применение методики PESTEL для анализа внешней среды предприятия общественного питания // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2022. Том 12. № 5А. С. 391399.
2. Постановление Правительства Российской Федерации от 23.12.2024 г. № 1875 «О мерах по предоставлению национального режима» (ред. от 18.02.2025).
3. Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2017 г. N 1640 "Об утверждении государственной программы РФ "Развитие здравоохранения".
4. Правительство России. Национальный проект «Новые технологии сохранения здоровья» [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://government.ru/rugovclassifier/926/events/> (дата обращения: 15.04.2025).
5. Распоряжение Правительства РФ от 01.04.2022 г. №711-р.

6. Федеральная служба государственной статистики. Демография. [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/12781> (дата обращения: 16.04.2025).
7. Синютин, Л.П. Развитие венчурного финансирования в Российской Федерации в условиях изменившейся геополитической реальности: дис. ... канд. экон. наук: 5.2.4: / Л.П. Синютин. – М., 2024. – 190 с.
8. Постановление Правительства РФ от 30.11.2024 N 1684 "Об утверждении Правил государственной регистрации медицинских изделий".
9. Постановление Правительства РФ от 27.12.2012 N 1416 "Об утверждении Правил государственной регистрации медицинских изделий".
10. ГОСТ ISO 13485–2017. Изделия медицинские. Системы менеджмента качества. Требования для целей регулирования. – М., 2017.

© Рузанова Н.В., 2025

Д.С. САБИТОВА, Ш.Р. ЕРМАКОВА, Р.М. ИШМУРАТОВА

Sabitovadiana098@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. Н.С. ИВАНОВА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ГЕМОГЛОБИНОМЕТРА

Аннотация: в работе представлена разработанная структурная схема – гемоглобинометра, предназначенного для измерения концентрации гемоглобина в крови методом фотометрии. Подробно рассмотрены составные узлы прибора, принципы их взаимодействия и алгоритм измерения по цианметгемоглобиновому методу. Описаны особенности обработки сигналов микроконтроллером, хранение результатов, а также функции индикации.

Ключевые слова: гемоглобинометр, фотометрия, микроконтроллер, ЦАП, оптическая плотность, цианметгемоглобиновый метод.

Разрабатываемый гемоглобинометр представляет собой усовершенствованную систему фотометрического анализа, отличающуюся от традиционных лабораторных приборов повышенной автоматизацией, цифровой обработкой сигналов и компактностью исполнения.

Основная уникальность прибора заключается в совмещении в одной схеме функций измерения, калибровки, обработки и хранения данных, что позволяет исключить необходимость в стороннем вычислительном оборудовании. Благодаря использованию микроконтроллера прибор способен самостоятельно выполнять все вычислительные операции – от регистрации сигналов до вывода результата в понятной пользователю форме.

В отличие от аналогов, в которых данные холостой пробы требуется измерять перед каждым анализом, в данной конструкции предусмотрено долговременное хранение эталонных данных в энергонезависимой памяти. Это позволяет проводить серию измерений без повторной калибровки, существенно повышая производительность и снижая время анализа.

Также в схему включён логарифмический преобразователь, который обеспечивает высокую точность вычисления оптической плотности за счёт прямого аналогового деления сигналов исследуемой и холостой проб. Это решение исключает погрешности, возникающие при последовательных цифровых измерениях и математической обработке, характерные для простых микропроцессорных схем.

Система питания прибора оснащена многоуровневой стабилизацией напряжения, обеспечивающей устойчивую работу всех электронных узлов, включая светодиодный источник излучения и фотоприёмник. Дополнительный

контроль стабильности тока питания светодиода предотвращает изменения яркости источника и гарантирует повторяемость измерений.

Особое внимание уделено удобству эксплуатации. Прибор снабжён звуковым сигнализатором, оповещающим о завершении измерений, а также интуитивно понятной клавиатурой и цифровым дисплеем для вывода результатов. Это делает его пригодным для использования не только в лабораториях, но и в условиях выездных обследований.

Таким образом, уникальность разработанного гемоглобинометра заключается в сочетании цифровых и аналоговых методов обработки, автономной работе, энергонезависимом хранении данных, низком энергопотреблении и высокой точности измерений. Комплекс указанных решений обеспечивает прибору широкие перспективы для внедрения в медицинскую практику, в том числе в портативных диагностических системах.

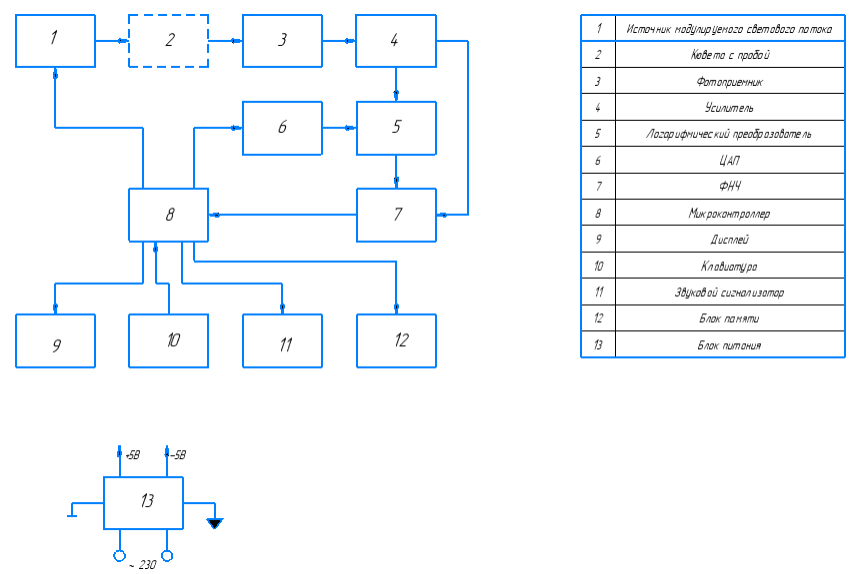


Рис. 3. Структурная схема гемоглобинометра

Работа гемоглобинометра основана на сравнении интенсивности светового потока, прошедшего через кювету с исследуемой пробой и с холостым раствором. В качестве источника света используется светодиод, излучающий на длине волны 540 нм – в области максимального поглощения цианметгемоглобина.

Световой поток проходит через кювету с исследуемой пробой крови. Интенсивность прошедшего света регистрируется фотодиодом, преобразующим световую энергию в электрический ток. Полученный сигнал усиливается и фильтруется с помощью фильтра нижних частот, отсекающего высокочастотные шумы.

Затем аналоговый сигнал поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя микроконтроллера, где преобразуется в цифровой код. При измерении холостой пробы полученные данные сохраняются во внутренней памяти микроконтроллера и во внешнем запоминающем устройстве.

При измерении исследуемой пробы микроконтроллер извлекает эталонные данные холостой пробы и подаёт их на цифро-аналоговый преобразователь, формируя опорный сигнал. Оба сигнала поступают на логарифмический преобразователь, который вычисляет их отношение и формирует выходное напряжение, пропорциональное оптической плотности раствора.

После этого микроконтроллер обрабатывает сигнал, пересчитывает его в концентрацию гемоглобина (в г/л) и выводит результат на дисплей вместе с текстовым сообщением («пониженный», «норма» или «повышенный уровень гемоглобина»).

Функциональные узлы прибора

- Источник излучения. В качестве источника света используется светодиод (VD1) с длиной волны 540 нм. Он обеспечивает стабильное монохроматическое излучение, необходимое для измерений по цианметгемоглобиновому методу. Светодиод работает в режиме стабилизированного тока, что предотвращает флуктуации яркости.

- Оптическая кювета. Применяется стандартная фотометрическая кювета размером 10×10 мм, выполненная из оптического стекла. Она обеспечивает постоянную длину оптического пути и минимальные потери излучения.

- Фотоприёмник. Фотодиод (VD2) служит для приёма прошедшего излучения и преобразования его в электрический ток, пропорциональный интенсивности света.

- Усилитель и фильтр нижних частот. Сигнал фотодиода усиливается и поступает на ФНЧ, пропускающий частоты до 10 Гц. Это обеспечивает подавление шумов и улучшает стабильность измерений.

- Аналого-цифровой и цифро-аналоговый преобразователи. АЦП используется для преобразования аналогового сигнала в цифровую форму для последующей обработки микроконтроллером. ЦАП, в свою очередь, преобразует цифровой эталонный сигнал холостой пробы обратно в аналоговый вид для подачи на логарифмический преобразователь.

- Логарифмический преобразователь. Выполняет аналоговую операцию деления сигналов исследуемой и холостой проб, формируя напряжение, пропорциональное оптической плотности раствора.

- Микроконтроллер. Центральный управляющий элемент схемы. Он управляет процессами измерения, обработкой данных, отображением информации, калибровкой и хранением результатов.

- Блок памяти. Внешнее энергонезависимое запоминающее устройство сохраняет эталонные данные, результаты измерений и калибровочные коэффициенты.

- Дисплей, клавиатура и звуковая индикация. Дисплей отображает результаты и диагностические сообщения. Клавиатура используется для управления приборами, запуска измерений и выбора режимов. Звуковой сигнализатор подаёт звуковые сигналы при завершении измерения или ошибке.

– Блок питания. Обеспечивает стабильные уровни постоянного напряжения для всех узлов схемы и имеет встроенные фильтры подавления помех.

Разработанная схема обладает рядом преимуществ по сравнению с существующими приборами аналогичного класса:

– Автономность – не требует внешнего компьютера для обработки данных;
– Высокая точность — за счёт логарифмического преобразования и цифровой фильтрации;

– Скорость измерения – благодаря хранению эталонных данных и автоматической калибровке;

– Энергоэффективность и компактность – низкое энергопотребление и простая реализация схемы;

– Расширенные функции хранения и статистики – запись и анализ предыдущих измерений.

Перспективы развития прибора связаны с внедрением беспроводных интерфейсов (Bluetooth, Wi-Fi) для передачи результатов на мобильные устройства и с возможностью интеграции в телемедицинские системы.

Разработанная структурная схема гемоглобинометра обеспечивает автоматизированное измерение концентрации гемоглобина методом фотометрии с цифровой обработкой сигналов. Использование микроконтроллера, логарифмического преобразователя и энергонезависимой памяти позволяет реализовать высокую точность, стабильность и простоту эксплуатации.

Прибор сочетает в себе функции регистрации, калибровки, обработки и хранения данных, что делает его перспективным для использования как в стационарных лабораториях, так и в портативных медицинских комплексах.

Библиографический список

1. Гребенщиков А.В. (ред.) *Лабораторная диагностика: Учебное пособие*. – М.: МЕДпресс-информ, 2021. – 328 с.
2. Патент РФ № 2783512. *Гемоглобинометр с автоматической калибровкой* / Е.Е. Кузнецов, 2022.
3. Кузьмин А.В. *Фотометрические методы измерения концентрации гемоглобина*. – М.: Наука, 2019. – 152 с.
4. Белов П.Ю., Тюрин В.М. *Микроконтроллерные измерительные системы в медицинской технике*. – СПб.: Питер, 2020. – 208 с.
5. Сафин И.Р., Ахметова Л.В. *Фотометрические методы в биомедицинских исследованиях*. – Казань: КНИТУ, 2020. – 180 с.

© Сабитова Д.С., Ермакова Ш.Р., Ишмуратова Р.М., 2025

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.

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.

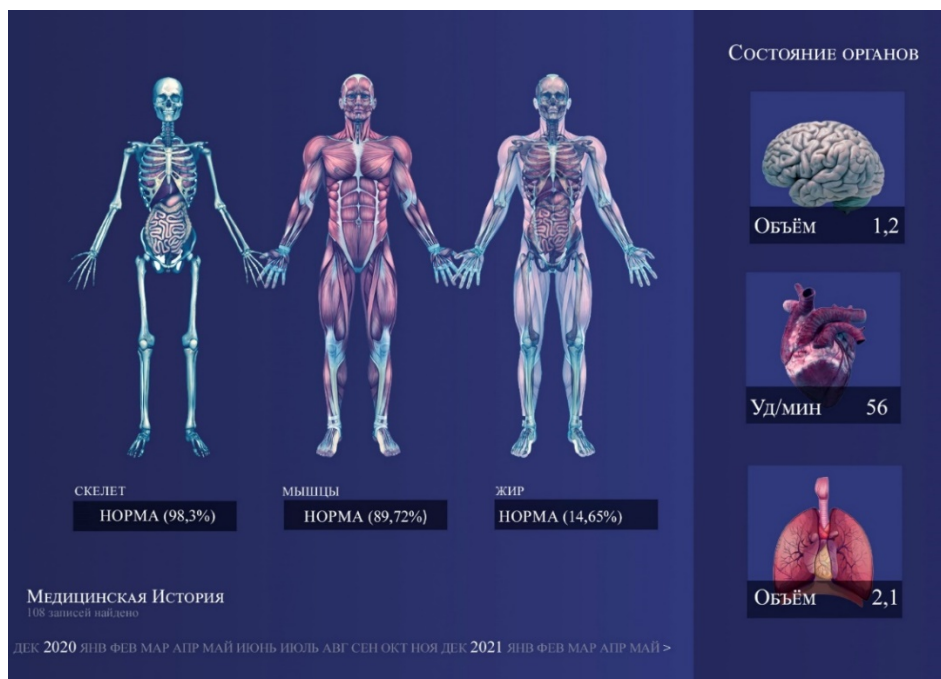


Рис. 1. Интерфейс программы для использования цифровых двойников

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., 2025

ПЕРСОНАЛИЗАЦИЯ В ОБЛАСТИ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ

По статистике Росстата на 2023 год было выдано 645097 протезов, ортезов и эндопротезов [1]. Таким образом, тема персонализации в области протезирования является актуальной.

В современном мире технологические достижения от индустрии 5.0 всё больше оказывают влияние на протезирование и его способы [2]. Одним из направлений данной индустрии являются аддитивные технологии. Такие инструменты как 3D-печать дополняются новыми процессами измерения, таких как 3D-сканирование, остаточных тканей конечностей и позволяют изготавливать культеприёмные гильзы с учётом особенностей анатомической структуры культи. Появляется возможность более равномерного распределения градиентов давления на ткани культи. Также данный способ изготовления, по сравнению с классическим, имеет множество преимуществ, а именно: изделие более лёгкое; можно подобрать материалы для различных целей использования изделия, например, с повышенной прочностью или с антимикробными свойствами; повышается скорость и точность изготовления изделия; появляется возможность персонализации желаемого дизайна, а, следовательно, и самовыражения человека [2].

В настоящее время многие крупные производители и малые предприятия в области протезно-ортопедических изделий всё больше обращают внимание на персонализацию внешности протеза. Делают это разными способами, так, например, отечественная компания по изготовлению протезов верхних конечностей «Моторика» изготавливает протезы сразу по желанию пациента, придавая желаемый цвет, рисунок и форму культеприёмной гильзы и протеза, показано на рис. 1 [3].



Рис. 1. Протезы кисти компании «Моторика»

Более сложными для косметической отделки являются протезы нижних конечностей. В состав модульного протеза бедра входят: культеприёмная гильза, несущие модули – трубки, коленный модуль, стопа. В состав протеза голени всё то же самое, за исключением коленного модуля [4]. До недавнего времени такие протезы облицовывали единственным способом, с помощью несъёмной поролоновой накладки, показано на рис. 2. Осуществляли это подгонкой размеров под протез и шлифовкой типовой модели. Данный способ является неудобным, так как поролоновая модель рвалась в ходе эксплуатации, впитывала влагу и загрязнялась.



Рис. 2. Поролоновая косметическая накладка

Германская компания «Ottobock» по протезированию конечностей частично смогла частично решить данную проблему и изготовила функциональную косметическую оболочку из жесткого пенного материала, показано на рис. 3 [5].



Рис. 3. Функциональная косметическая накладка компании «Ottobock»

Однако огромным недостатком данного изделия является то, что оно подходит исключительно под их собственные электронные коленные модули.

С началом появления аддитивных технологий в протезировании появилась возможность изготавливать ударопрочные, влагостойкие косметические накладки с любым цветом и рисунком. Сформировались российские малые предприятия, специализирующиеся на производстве таких моделей, такие как: «InSTEP», «Nolan-cover», «(с)cover» и т.д.

Созданий функциональных косметических накладок реализуется в ходе следующих этапов:

1. Снимаются размеры и форма протеза и здоровой ноги (при наличии) с помощью 3D-сканера.
2. На основе полученных трёхмерных моделей производится их обработка и создание формы косметической накладки.
3. Готовую модель согласовывают с клиентом и выбирают материал из которого будет состоять изделие. Его выбор зависит от желаемой жёсткости.
4. С помощью 3D-принтера модель печатается из таких материалов как TPU, ABS, PETG и т.д., печататься может из пластика разных цветов.
5. Уже на готовую модель наносят рисунок с помощью аквапринта или вручную акриловыми красками с последующим нанесением прозрачного защитного лака.

На основе данного способа изготовления, по результатам практической работы при поддержке кафедры Биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «УУНиТ» и ПОЦ (протезно-ортопедический центр) «ПРОдвижение» для нужд пациента на 3д-принтере была изготовлена косметическая накладка, состоящая из пластика TPU, что соответствует требованиям изготовления протезно-ортопедических изделий, показано на рис. 4 [6].



Рис. 4. Функциональная косметическая накладка

Таким образом, с внедрением индустрии 5.0 в область протезирования, появляется возможность более совершенного изготовления функциональных косметических накладок. Что позволяет людям с ограниченными возможностями получить мощный способ самовыражения и улучшения психологического состояния.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики – Положение инвалидов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/13964> (дата обращения 01.11.2025)
2. Чернов А.А., Ломакин Д.В., Иванов С.А. Применение аддитивных технологий в изготовлении протезно-ортопедических изделий: обзор современного состояния. Биомедицинская инженерия, 2023, № 4, с. 45–53.
3. Моторика. Протезы верхних конечностей с персонализированным дизайном [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – URL: <https://motorica.tech/> (дата обращения: 05.11.2025).
4. ГОСТ Р 71254–2024. Изделия протезно-ортопедические. Общие технические условия. – Введ. 2024-07-01. – М.: Стандартинформ, 2024. – 16 с.
5. Ottobock. Cosmesis for lower limb prostheses [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ottobock.com/en/prosthetics/cosmesis/> (дата обращения: 05.11.2025).
6. ГОСТ Р 71254–2024. Изделия протезно-ортопедические. Общие технические условия. – Введ. 2024.

© Сафиуллин А.Р., Халилова З.Ф., 2025

И.Р. СУЛТАНОВА

Ilvilvilv16@mail.ru

Науч.руковод. – к.т.н., доцент кафедры БМИ Л.Р. САЯПОВА

Уфимский университет науки и технологий

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВНУТРИГЛАЗНОГО ДАВЛЕНИЯ

Аннотация: в данной статье рассматриваются методы измерения внутриглазного давления (ВГД), являющегося основным показателем состояния гидродинамики глаза. Проводится анализ контактных, бесконтактных и импульсных тонометров, включая приборы Маклакова, Гольдмана и Icare. Рассматриваются их принципы действия, преимущества и недостатки, а также значение точного измерения ВГД при дтиагностике глаукомы.

Ключевые слова: внутриглазное давление, тонометрия, глаукома, тонометр Маклакова, тонометр Гольдмана, Icare ic100, офтальмология.

Введение

Контроль внутриглазного давления (ВГД) является обязательной процедурой в офтальмологической практике, поскольку повышение давления внутри глаза напрямую связано с риском развития глаукомы – хронического заболевания, приводящего к необратимой утрате зрения [1]. Эффективная диагностика глаукомы невозможна без регулярного измерения ВГД. Современные технологии позволяют получить достоверные результаты даже при минимальном вмешательстве в структуру глаза [2].

Историческое развитие методов тонометрии.

Первый в мире тонометр предложил российский офтальмолог А.Н.Маклаков в 1884 году. Его устройство стало базовым инструментом для оценки ВГД [3]. Позднее появились апланационные тонометры, наиболее известный из которых – прибор Гольдмана [4]. С 1980-х годов начали внедряться бесконтактные пневмотонометры, использующие поток сжатого воздуха [5]. Современный этап развития связан с появлением импульсивных тонометров, таких как Icare ic 100 [6].

Методы измерения внутриглазного давления.

Тонометр Маклакова.



Рис. 17. Набор тонометров Маклакова

Тонометр Маклакова представляет собой металлический цилиндр с площадками на концах, покрытыми тонким слоем краски. При прикосновении к роговице часть краски смывается, оставляя отпечаток, по диаметру которого определяют ВГД [3]. Преимущества: простота, низкая стоимость, высокая воспроизводимость. Недостатки: необходимость анестезии и риск инфицирования.

Апланационный тонометр Гольдмана.



Рис. 18. Апланационный тонометр Гольдмана

Метод Гольдмана основан на принципе апланации – сплющивания центрального участка роговицы диаметром 3,06 мм. Сила, необходимая для этого, прямо пропорциональна внутриглазному давлению. Для проведения измерения используется щелевая лампа и специальная призма [4]. Преимущества: высокая точность и надежность данных. Недостатки: необходимость анестезии и стерилизации.

Бесконтактная пневмотонометрия.



Рис. 19. Пневмотонометр ТХ-20Р

Пневмотонометр измеряет ВГД, направляя струю воздуха на роговицу. Прибор фиксирует момент выравнивания поверхности и определяет давление по времени отклика [5]. Преимущества: безболезненность, отсутствие контакта. Недостатки: чувствительность к анатомическим особенностям роговицы.

Импульсные тонометры (Icare ic100).



Рис. 20. Тонометр Icare ic100

Импульсный тонометр измеряет ВГД на основе анализа скорости и замедления миниатюрного зонда. Система автоматически фиксирует данные и отображает результат на дисплее [6]. Преимущества: отсутствие необходимости анестезии, портативность. Недостатки: высокая стоимость и необходимость калибровки.

Сравнительный анализ методов тонометрии.

Таблица 1

Метод / прибор	Контакт	Анестезия	Точность	Комфорт	Домашнее использование
Маклакова	Да	Да	Средняя	Низкий	Нет
Гольдмана	Да	Да	Очень высокая	Средний	Нет
Пневмотонометр	Да	Нет	Средняя	Высокий	Нет
Icare ic100	Минимальный	Нет	Высокая	Очень высокий	да

Значение тонометрии в диагностике глаукомы.

Измерение внутриглазного давления является ключевым элементом профилактики глаукомы. Повышенное ВГД вызывает нарушение кровоснабжения зрительного нерва [8]. Нормальное значение ВГД у взрослого

человека составляют 10-21 мм рт. ст. [9]. Современные технологии позволяют проводить измерения безболезненно и безопасно [10].

Заключение

Развитие тонометрии отображает общий прогресс медицинских технологий. Классические методы, такие как тонометрия Маклакова и Гольдмана, по-прежнему остаются эталонными, однако импульсные и бесконтактные технологии расширили возможности диагностики глаукомы. Современные приборы обеспечивают повышение точности, автоматизацию измерений и комфорт пациента.

Библиографический список

1. Егоров Е.А., Астахов Ю.С., Щуко А.Г. Национальное руководство по глаукоме. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008.
2. Еричев В.П., Антонов А.А. Современные подходы к диагностике глаукомы. – Вестник офтальмологии, 2022, №2.
3. Маклаков А.Н. О тонометрии глаза. – Вестник офтальмологии, 1884.
4. Фокин В.П., Балалин С.В., Борискина Л.Н. Толерантность зрительного нерва при глаукоме. – Волгоград, 2016.
5. Гаврилова Ю.В., Соколов С.В. Современные методы измерения внутриглазного давления. – Офтальмологические ведомости, 2019.
6. Шнайдер Н.А., Поздеева Н.А., Юрьева Т.Н. Современные портативные тонометры в диагностике глаукомы. – Иркутск, 2021.
7. Лебедев А.В., Киселева Т.Н. Сравнение результатов тонометрии различными методами. – Медицинский альманах, 2020.
8. Щуко А.Г., Дмитриенко Д.В., Горбунова Н.Ю. Редкие формы глаукомы. – Иркутск, 2021.
9. Котлярова О.А., Антонов А.А. Суточные колебания внутриглазного давления. – Современная офтальмология, 2020.
10. Воскресенская А.А., Жукова С.И. Роль современных тонометров. – Российский офтальмологический журнал, 2023.

© Султанова И.Р., 2025

Д.А. ФАТХИЕВ

dinar.fatkhiev.02@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент И.А. ЛАКМАН

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ ПО СИМПТОМАМ: ПОДХОДЫ, ОСОБЕННОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Аннотация: в статье представлен сравнительный анализ интеллектуальных систем диагностики заболеваний по введённым симптомам. Рассматриваются их архитектурные подходы, соответствие требованиям, клинических систем и ограничения. На основе выделенных критериев проведён критический анализ и сформулированы выводы о перспективах развития подобных решений с учётом национальных требований и стандартов.

Ключевые слова: искусственный интеллект, диагностика, медицинские информационные системы, симптомы, телемедицина.

Использование систем искусственного интеллекта для предварительной диагностики по симптомам становится одной из распространённых практик цифрового здравоохранения. Такие сервисы используются пациентами для самооценки состояния, а также врачами как вспомогательный инструмент. Они позволяют выявить вероятные заболевания, определить уровень срочности обращения за медпомощью и сориентировать пользователя в дальнейших действиях.

В международной практике такие системы существуют уже более десяти лет, однако лишь в последние годы появляются стандартизированные требования к их надёжности и безопасности. В России регуляторная база формируется на основе серии ГОСТ Р 59921, регламентирующих методологию испытаний и эксплуатационный контроль медицинских ИИ-систем. Это создаёт основу для структурированного анализа актуальных решений

Для сравнения были использованы критерии, отражающие свойства клинически значимых интеллектуальных систем: тип используемой модели, интерпретируемость, соответствие клиническим рекомендациям, удобство взаимодействия, объём базы знаний, наличие подтверждённых данных о точности и возможность интеграции с медицинскими системами. Такой подход позволяет не только описать платформы, но и оценить их прикладную готовность и ограничения использования.

Рассмотрены популярные зарубежные и российские системы: Ada Health, Babylon Health, Symptoma, WebMD Symptom Checker, Webiomed и Checkme. Они различаются по архитектуре, целевой аудитории и степени клинической

валидированности.

Для подтверждения выбранных критериев был проведён дополнительный анализ систем по заявленным параметрам клинической значимости. Краткие сравнительные характеристики указанных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительные характеристики интеллектуальных систем диагностики заболеваний по симптомам

Система	Тип модели	Интерпретируемость	Соответствие клиническим рекомендациям	Точность / Валидация	Интеграция с медсистемами	Общая оценка
Ada Health	Экспертные правила + ML	Высокая, но без детализированных объяснений	Условное соответствие	Исследования проводились, заявлена высокая точность	Нет	Высокая для самооценки
Babylon Health	Глубокие модели NLP	Ограниченная, чёрный ящик	Частично	Имеет показатели точности, но есть критика	Есть в NHS	Высокая, но вопрос к прозрачности
Symptoma	Гибридная база + ML	Средняя	Частично	Есть публикации, признаётся экспертами	Нет	Очень высокая для редких болезней
WebMD	Правила	Высокая и простая	Низкое соответствие	Нет открытых клинических исследований	Нет	Подходит только как справочник
Webio med	ML, клинические правила	Высокая	Соответствует российским протоколам	Проводится клиническая верификация	Да	Высокая для применения в РФ
Checkme	Симптом-опросник	Высокая	Частично	Нет публичных данных	Нет	Для бытовой оценки, ограничено

Представленные данные показывают, что наилучший баланс между точностью, интерпретируемостью и соблюдением клинических требований демонстрируют гибридные системы и решения, интегрированные в инфраструктуру здравоохранения (например, Webio med). Платформы, ориентированные на массовое использование (WebMD, Checkme), уступают по клинической надёжности, но сохраняют ценность как вспомогательный инструмент.

Российские разработки более ориентированы на интеграцию в систему здравоохранения и соответствие регуляторным требованиям, особенно

Webiomed, но пока уступают зарубежным аналогам по функциональной глубине и международной применимости. Отдельным ограничением большинства платформ остаётся отсутствие полной адаптации под национальные клинические рекомендации

Несмотря на потенциал, диагностические системы по симптомам имеют существенные ограничения. Это неполная прозрачность моделей, отсутствие у многих международных решений обязательной медицинской сертификации, чувствительность к качеству введённых данных и риск неправильной интерпретации рекомендаций пациентами без медицинской подготовки. Эти факторы подчёркивают необходимость клинической верификации, реализации интерпретируемых алгоритмов и строгого соответствия нормативным требованиям.

Проведённый анализ подтверждает перспективность применения интеллектуальных систем диагностики по симптомам для повышения доступности медицинской помощи и поддержки принятия решений. Однако их использование должно сопровождаться пониманием ограничений и невозможностью замены квалифицированной врачебной оценки.

Наиболее перспективным направлением развития является создание прозрачных, клинически валидированных и регуляторно согласованных моделей, интегрируемых с электронными медицинскими системами и поддерживающих локальные стандарты диагностики.

Библиографический список

1. Булычева Е.В. Искусственный интеллект как новое явление в развитии здравоохранения и медицинского образования (обзор литературы) // Медицинское образование и профессиональное развитие. – 2023. – № 1. – С. 15–22.
2. Морозов С.П. Искусственный интеллект в российском здравоохранении: результаты и перспективы // Радиология – практика. – 2024. – № 2. – С. 5–10.
3. Куликов С.А., Емельянов С.А. Искусственный интеллект в медицине. – М.: МИСиС, 2021.
4. Кобринский Б.А. Искусственный интеллект и медицина: возможности и перспективы систем, основанных на знаниях // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 4. – С. 44–51.
5. Гусев А. Обзор российских систем искусственного интеллекта для здравоохранения // Webiomed. – 2024.
6. Куликов С.А., Емельянов С.А. Искусственный интеллект в медицине. – М.: МИСиС, 2021.

© Фатхиев Д.А., 2025

УДК 004.89

Д.А. ФАТХИЕВ

dinar.fatkhiev.02@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент И.А. ЛАКМАН

Уфимский университет науки и технологий

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ДИАГНОСТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПО СИМПТОМАМ: СТРУКТУРА, АЛГОРИТМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Аннотация: в статье рассматривается разработка интеллектуальной системы, диагностирующей заболевания по введенным симптомам. Описаны алгоритмы классификации, методы обработки текстовых данных и интеграция с медицинскими базами. Также затронуты вопросы точности при неполных данных и перспективы применения в телемедицине.

Ключевые слова: интеллектуальная система, диагностика, симптомы, ИИ в медицине, классификация заболеваний, машинное обучение, телемедицина.

Современное здравоохранение требует инструментов, способных быстро и точно определять возможные диагнозы на основе ограниченной информации. Интеллектуальные системы диагностики становятся важной частью цифровой медицины, особенно в условиях удалённого консультирования и начального этапа обследования.

Целью является разработка модели интеллектуальной системы, способной по симптомам пользователя предлагать вероятные диагнозы. Задачи включают анализ методов классификации, интеграцию справочных медицинских баз, обработку симптомов в текстовом формате и тестирование модели на устойчивость к неполным данным.

Классификация симптомов осуществляется с использованием алгоритмов машинного обучения, включая логистическую регрессию, деревья решений, ансамблевые методы и глубокие нейросетевые архитектуры. Для интерпретации пользовательских описаний применяются современные технологии обработки естественного языка (NLP), такие как TF-IDF, Word2Vec и модели на базе трансформеров (например, BERT). База знаний формируется с опорой на авторитетные медицинские источники, включая МКБ - 10, MedScape и WebMD.

При разработке систем поддержки принятия клинических решений учитываются нормативные документы:

— ГОСТ Р 59921.2 - 2021 - программа и методика технических испытаний ИИ в медицине;

— ГОСТ Р 59921.4 - 2021 - оценка и контроль эксплуатационных параметров медицинских ИИ-систем;

— требования Росздравнадзора о регистрации программного

обеспечения как медицинского изделия.

В соответствии с требованиями Росздравнадзора, интеллектуальная диагностическая система относится к медицинскому программному обеспечению и подлежит регистрации как медицинское изделие перед практическим применением.

Одним из ключевых критериев является клиническая интерпретируемость – алгоритм должен обеспечивать прозрачность логики принятия решений и возможность экспертной проверки врачом.

Для демонстрации различий в интерпретируемости и применимости различных архитектур машинного обучения представлена сравнительная характеристика алгоритмов в таблице 1.

Таблица 1

Применимость алгоритмов в задачах медицины

Тип модели	Интерпретируемость	Применимость в медицине	Пример
Логистическая регрессия	Высокая	Рекомендуется	Диагностика, оценка рисков
Деревья решений	Высокая	Рекомендуется	СППР, рекомендации
Случайный лес	Средняя	Допустима	Скрининг
Градиентный бустинг	Средняя	Ограниченно	Прогноз исходов
BERT и др. NLP-модели	Низкая	Ограниченно (с ХАИ)	Симптом-чекеры
Глубокие CNN	Низкая	Для визуальных задач	Анализ снимков
Survival Analysis	Высокая	Рекомендуется	Прогноз выживаемости

Кроме того, для ряда клинических задач, включая прогнозирование выживаемости и анализ конкурирующих рисков, применяются интерпретируемые статистические методы, такие как модели анализа выживаемости (survival analysis), что подчёркивает важность объяснимости алгоритмов в медицинских ИИ-системах.

Таким образом, для диагностики по симптомам целесообразно использование интерпретируемых моделей (логистическая регрессия, деревья решений), а нейросетевые подходы применяются при условии обеспечения механизмов объяснения результата.

Предусмотрена модульная архитектура: интерфейс ввода данных, блок лингвистической предобработки, диагностический движок, база знаний и модуль вывода рекомендаций. Такая структура облегчает масштабирование и

доработку системы под конкретные задачи.

При дефиците информации система применяет вероятностные подходы, включая наивные байесовские модели и методы восстановления пропущенных данных. Это позволяет повысить гибкость и надёжность диагностики.

Наиболее перспективными сферами применения выступают системы телемедицины, мобильные приложения для самоконтроля здоровья, а также вспомогательные инструменты для практикующих врачей. В будущем возможно углубление персонализации рекомендаций и синхронизация с носимыми устройствами и электронными медкартами.

Интеллектуальные системы диагностики по симптомам обладают высоким потенциалом в сфере цифрового здравоохранения. Их внедрение повысит доступность и эффективность первичной медицинской помощи.

Таким образом, разработка интеллектуальной системы диагностики заболеваний на основе симптомов представляет собой актуальное направление цифрового здравоохранения. Учитывая требования медицинского регулирования и интерпретируемости, использование комбинированных алгоритмов и базы знаний позволяет повысить точность предварительного диагноза и уровень доверия медицинских специалистов.

Библиографический список

1. Булычева Е.В. Искусственный интеллект как новое явление в развитии здравоохранения и медицинского образования (обзор литературы) // Медицинское образование и профессиональное развитие. – 2023. – № 1. – С. 15–22.
2. Гашкаримов В.Р., Султанова Р.И., Ефремов И.С., Асадуллин А.Р. Использование методов машинного обучения в диагностике и прогнозировании клинических особенностей шизофрении: нарративный обзор литературы // Consortium Psychiatricum. – 2023. – Т. 4, №3. – С. 43–53.
3. Морозов С.П. Искусственный интеллект в российском здравоохранении: результаты и перспективы // Радиология – практика. – 2024. – № 2. – С. 5–10.
4. Кобринский Б.А. Искусственный интеллект и медицина: возможности и перспективы систем, основанных на знаниях // Новости искусственного интеллекта. – 2001. – № 4. – С. 44–51.
5. Гусев А. Обзор российских систем искусственного интеллекта для здравоохранения // Webiomed. – 2024. – URL: https://webiomed.ai/blog/obzor-rossiiskikh-sistem-iskusstvennogo-intellekta-dlia-zdravookhraneniia_
6. Куликов С.А., Емельянов С.А. Искусственный интеллект в медицине. – М.: МИСиС, 2021.

© Фатхиев Д.А., 2025

О.П. ФРОЛОВА

bly2004bly2004@gmail.com

Науч. руковод. – ст. препод. каф. БМИ Н.С. ИВАНОВА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ АППАРАТА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ АПНОЭ СНА

Аннотация: в статье рассматривается проблема синдрома обструктивного апноэ сна (СОАС) как значимого фактора риска развития сердечно-сосудистых, неврологических и метаболических расстройств. Приводится структурная схема и принцип работы устройства для скрининговой регистрации эпизодов апноэ, основанного на современных методах функциональной диагностики.

Ключевые слова: синдром обструктивного апноэ сна, регистрация апноэ, гипоксия, полисомнография, структурная схема, диагностическое устройство.

Синдром обструктивного апноэ сна (СОАС) представляет собой широко распространенное состояние, характеризующееся повторяющимися эпизодами полного (апноэ) или частичного (гипопноэ) коллапса верхних дыхательных путей во время сна [1]. Данное заболевание является не только причиной хронической дневной сонливости и снижения качества жизни, но и независимым фактором риска развития артериальной гипертензии, ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда, инсульта и когнитивных нарушений [2]. В России, где бремя сердечно-сосудистых заболеваний остается чрезвычайно высоким, проблема своевременной диагностики СОАС приобретает особую медико-социальную значимость.

Распространенность СОАС в общей популяции, по данным российских исследований, может достигать 15-20% среди лиц старше 30 лет [3]. При этом осведомленность населения и врачей первичного звена о данном заболевании остается недостаточной. «Золотым стандартом» диагностики является полисомнография (ПСГ) – сложное и дорогостоящее исследование, проводимое в условиях специализированного сомнологического центра. Доступность ПСГ в России ограничена: согласно отчету Общероссийского народного фронта (2024), лишь 25% региональных больниц имеют необходимое оборудование, а средняя очередь на исследование составляет от 3 до 9 месяцев [4]. Это приводит к гиподиагностике и позднему выявлению СОАС, когда у пациентов уже развились необратимые осложнения.

Особую актуальность проблема приобретает в контексте последствий COVID-19. Постковидный синдром нередко включает нарушения архитектуры сна и усугубление ранее недиагностированного апноэ. Исследование НМИЦ терапии и профилактической медицины (2024) показало, что у 40% пациентов,

перенесших COVID-19 с умеренным и тяжелым течением, отмечается ухудшение параметров дыхания во сне, что ассоциировано с ростом числа жалоб на дневную усталость и когнитивные трудности [5].

Патогенетическая связь СОАС с сердечно-сосудистыми и цереброваскулярными заболеваниями хорошо изучена. Повторяющиеся эпизоды апноэ приводят к интермиттирующей гипоксемии, активации симпатической нервной системы и системному воспалению. По данным Научного центра неврологии, у пациентов с нелеченным тяжелым СОАС риск развития инсульта в 3-4 раза выше, чем в общей популяции [6]. Ночная гипоксия также оказывает повреждающее действие на головной мозг, способствуя развитию нейродегенеративных изменений. Исследование, проведенное на базе РНИМУ им. Н.И. Пирогова, выявило, что у 35% пациентов с СОАС наблюдаются значимые нарушения вербальной памяти и исполнительных функций [7].

В связи с вышеизложенным, разработка доступных и простых в использовании устройств для скрининговой диагностики апноэ в амбулаторных и домашних условиях является своевременной и важной задачей. Такие устройства позволяют проводить массовое обследование групп риска и своевременно направлять пациентов на углубленную диагностику и лечение.

Разработанная структурная схема устройства для регистрации апноэ представлена на рисунке 1.

Прибор работает следующим образом: датчик потока воздуха регистрирует наличие/отсутствие воздушного потока в дыхательных путях (обструктивное апноэ). Датчики дыхательных усилий фиксируют движения грудной клетки и брюшной полости (позволяют различить обструктивное и центральное апноэ).

Блок регистрации и предварительной обработки (АЦП) преобразует аналоговые сигналы от датчиков в цифровую форму. Усиливает слабые биоэлектрические сигналы.

Микропроконтроллер управляет работой всех блоков системы, осуществляет первичную обработку данных в реальном времени: обнаружение событий апноэ/гипопноэ, расчет индекса апноэ-гипопноэ (ИАГ), десатураций.

Блок памяти сохраняет всю raw-информацию (сырые данные) с датчиков и результаты первичного анализа за всю ночь.

Блок управления позволяет пользователю управлять аппаратом (вкл/выкл) и получать информацию о статусе работы (заряд батареи, качество сигнала).

Блок питания обеспечивает автономную работу прибора в течение всей ночи.

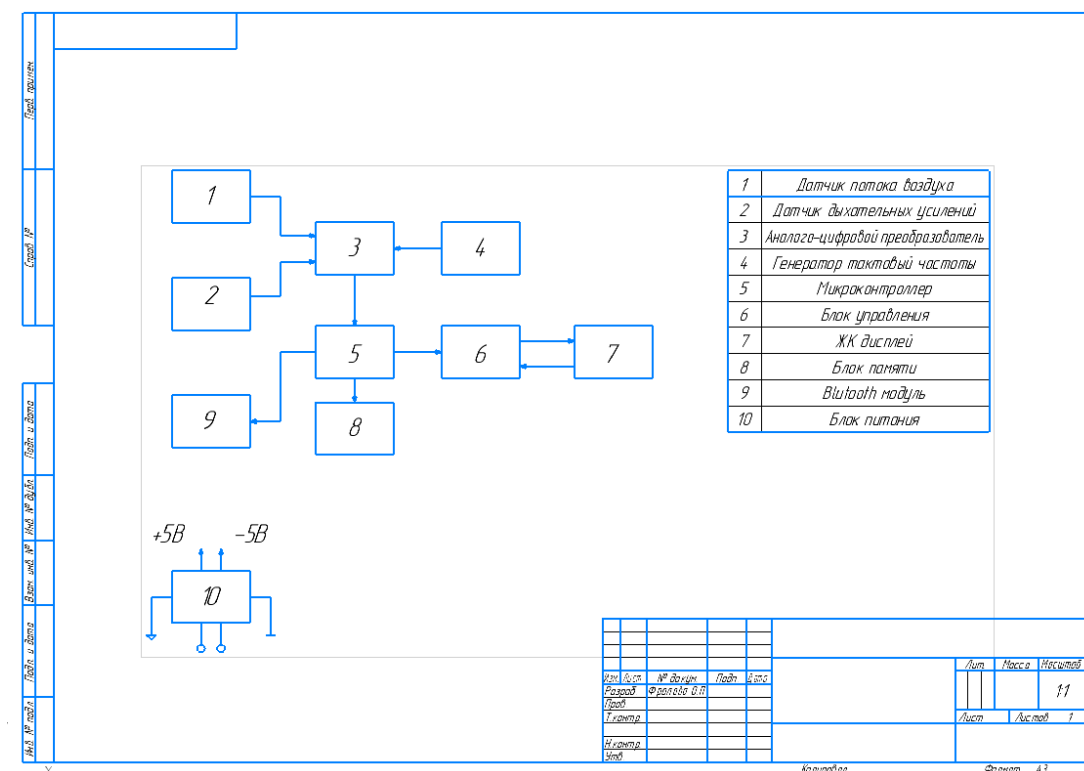


Рис. 1. Структурная схема устройства для регистрации апноэ сна

Библиографический список

1. Вейн, А.М. Сон и дыхание / А.М. Вейн, Я.И. Левин. – Москва: Эйдос Медиа, 2019. – 318 с.
2. Пальман, А.Д. Сомнология и респираторная медицина / А.Д. Пальман. – Санкт-Петербург: СпецЛит, 2020. – 256 с.
3. [Электронный ресурс]: Данные эпидемиологического исследования распространенности СОАС в РФ. «Кардиоваскулярная терапия и профилактика». – 2022. <https://scardio.ru>
4. [Электронный ресурс]: Отчет ОНФ «О доступности высокотехнологичной медицинской помощи в регионах РФ». – 2024. <https://onf.ru>
5. [Электронный ресурс]: Исследование НМИЦ ТПМ «Постковидные нарушения сна». – 2024. <https://gnicpm.ru>
6. [Электронный ресурс]: Исследования НЦН о связи СОАС и инсульта. «Неврологический журнал». – 2023. <https://www.neurology.ru>
7. [Электронный ресурс]: Данные РНИМУ им. Н.И. Пирогова о когнитивных нарушениях при СОАС. – 2024. <https://rsmu.ru>
8. Коровкин, Ю.Г. Нейрокогнитивные нарушения в сомнологии / Ю.Г. Коровкин. – Москва: Академический проект, 2019. – 274 с.

© Фролова О.П., 2025

Р.А. ХАКИМОВА

renatahakimova062@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент каф. БМИ К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОСТИ КОЖИ

Аннотация: в данной статье рассматривается метод определения эластичности (упругости) кожи, а также технические составляющие прибора, работающего на методе кутометрии.

Ключевые слова: кожа; эластичность; прибор для определения эластичности; метод всасывания; кутометрия;

Кожный покров человека является сложным многофункциональным органом. Биомеханические свойства кожи играют ключевую роль не только барьерной функции, но и в качестве визуального индикатора процессов старения, здоровья и различных патологических состояний.

Одним из фундаментальных параметров, характеризующих состояние кожи, является её эластичность. Под эластичность принято понимать способность сопротивляться деформации и возвращаться в исходное состояние после прекращения воздействия внешней силы на исследуемый участок [1].

Объективная оценка этого параметра долгое время оставалась сложной задачей, решаемой в основном субъективными пальпаторными методами. Прорывом в этой области стало создание специальных измерительных приборов – кутометров. Кутометрия, как метод количественной оценки биомеханических свойств кожи, позволяет перевести субъективные ощущения в точные цифровые значения, что открывает широкие возможности для дерматологии, косметологии, геронтологии и регенеративной медицины [2].

В основе устройства для определения эластичности кожи лежит метод всасывания изучаемого участка кожи с помощью контролируемого вакуума. Устройство создает отрицательное давление, и с помощью оптического датчика отслеживает, как меняется отражение света от деформируемого участка. На основе этих данных вычисляются и отображаются в реальном времени глубина втягивания (до 2,5 мм), то, как кожа растягивается, и как быстро возвращается в исходное состояние [1].

При разборе технических составляющих, были определены основные блоки устройства, позволяющие методом кутометрии, исследовать изучаемый участок кожи [4]. Структурная схема представлена на рисунке 1.

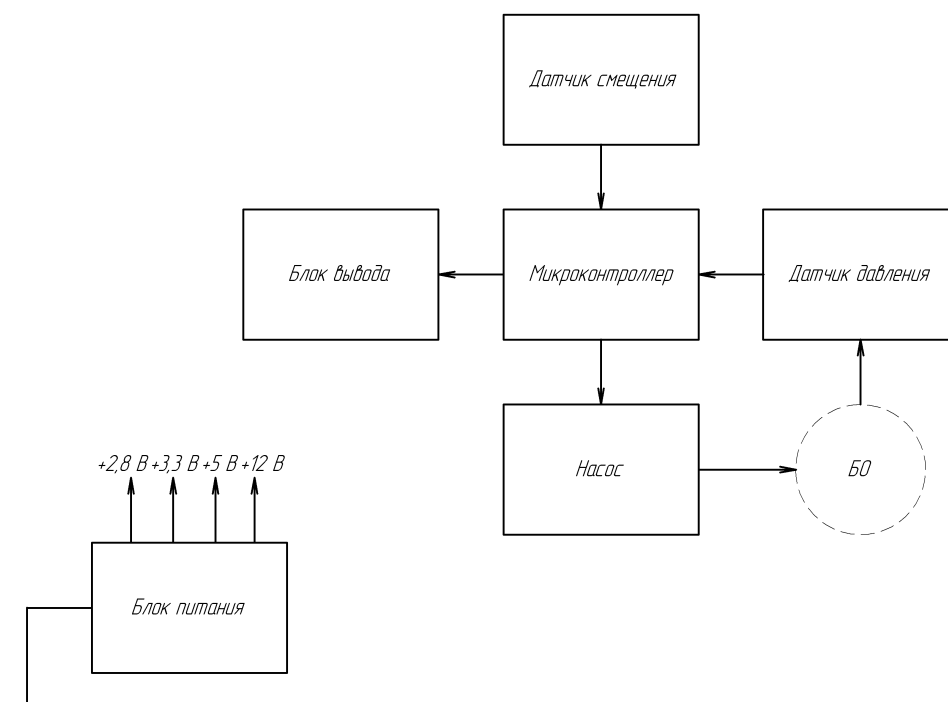


Рис. 21. Структурная схема устройства для определения эластичности кожи

Принцип работы можно описать следующим образом: вся работа устройства начинается с блока питания, преобразующего напряжение в серию стабилизированных значений, требуемых для работы компонентов: +12 В для питания мощного насоса (рис. 2), создающего вакуум, +5 В для работы блока вывода и ЖК-дисплея, +3.3 В для питания микроконтроллера и датчика давления, и +2.8 В для высокоточного лазерного дальномера, где стабильность напряжения критически важна для точности измерений [7].



Рис. 22. Насос, создающий отрицательное давление

После включения питания микроконтроллер ATmega328 инициализирует все периферийные устройства. Когда устройство подносят к коже, измерительная камера герметично прилегает к её поверхности. На этом этапе

лазерный дальномер VL53L0X (рис. 3) фиксирует начальное положение участка кожи.

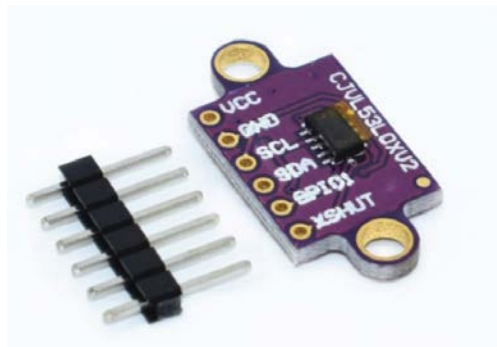


Рис. 23. Лазерный дальномер VL53L0X

Микроконтроллер запускает насос, который начинает откачивать воздух из измерительной камеры. Внутри камеры создается отрицательное давление (вакуум). Датчик давления BMP280 (рис. 4) непрерывно отслеживает уровень этого разрежения в реальном времени и передает данные на микроконтроллер [6]. Параллельно с этим лазерный дальномер постоянно измеряет расстояние до поверхности кожи, которая под действием вакуума начинает втягиваться, формируя своеобразный купол.

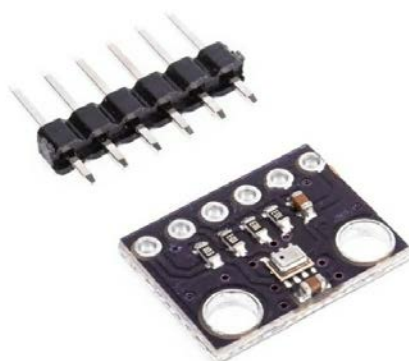


Рис. 24. Датчик давления BMP280

Процесс продолжается до тех пор, пока датчик давления не зафиксирует достижение заранее заданного целевого значения вакуума – это -500 Па, после чего микроконтроллер подает команду на отключение насоса. Далее фиксируются окончательные показания лазерного дальномера – расстояние до вершины образовавшегося кожного купола.

На основе полученных данных микроконтроллер производит расчет эластичности. Для этого он вычисляет разницу между первоначальным расстоянием до кожи и конечным, то есть величину смещения кожного покрова.

Ключевой принцип заключается в том, что чем больше это смещение при достижении заданного давления вакуума, тем выше эластичность кожи. Полученный результат передается в блок вывода и отображается для

пользователя на ЖК-дисплее. После завершения измерения и вывода результата микроконтроллер сбрасывает вакуум в камере, позволяя коже вернуться в исходное состояние.

Заключение. В результате проведенной работы была разработана структурная схема устройства для определения эластичности кожи, а также описан принцип работы устройства с его составляющими.

Библиографический список

1. Путинцева П. А., Конышева Е. Д., Мильчаков Д. Е. Способы восстановления эластичности кожи и их эффективность (на примере некоторых современных методов) // МНИЖ. 2015. №3-4 (34). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-vostanovleniya-elastichnosti-kozhi-i-ih-effektivnost-na-primere-nekotoryh-sovremennyh-metodov> (дата обращения: 01.08.2025).
2. Диагностика кожи: вакуумная кутометрия и ультразвуковая микроскопия [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.kiz.ru/content/esteticheskaya-meditcina/kosmetologiya/vakuumnaya-kutometriya-i-ultrazvukovaya-mikroskopiya/> (дата обращения: 06.08.2025).
3. Cutometer® MPA 580 – Skin Elasticity Measurement URL: <https://www.courage-khazaka.com/en/scientific-products/cutometer-dual-mpa-580> (дата обращения: 06.08.2025).
4. Авторское свидетельство № 745503 А1 СССР, МПК А61В 5/05, А61В 10/00. Устройство для определения эластичности кожи человека: № 2523107: заявл. 29.08.1977: опубл. 05.07.1980 / А. Г. Савенко, К. А. Хира; заявитель КИЕВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ НЕЙРОХИРУРГИИ. – EDN WEJQFT.
5. Arduino - Controls Pump | Arduino Tutorial [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-controls-pump> (Дата обращения: 05.09.2025)
6. BMP280 Data sheet [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/BST-BMP280.pdf?ysclid=mg86rmbyd887627492> (Дата обращения: 05.09.2025)
7. VL53L0X Data sheet [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l0x.pdf> (Дата обращения: 05.09.2025)

© Хакимова Р.А., 2025

З.Ф. ХАЛИЛОВА

zaliya.khalilova@mail.ru

Науч. руковод. – ассистент К.Р. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ TMR-ТЕХНОЛОГИИ КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО БРЕМЕНИ ГОСУДАРСТВА

Потеря конечности при заболевании или несчастном случае всегда не просто сказывается на человеке. Это вызов, затрагивающий психологию, физиологию и социальную адаптацию людей. Поэтому с каждым годом разрабатываются все больше технологий, позволяющие облегчить жизнь пациентам. Одной из таких является TMR (Targeted Muscle Reinnervation) технология, или в переводе целевая мышечная реинновация [1].

Таким образом, можно полагать, что увеличение медицинских исследований области TMR-технологии является актуальной проблемой в сфере бионического протезирования. Цель данной работы – анализ научной и технической литературы для формирования направления исследовательской деятельности с последующим снижением экономического бремени государства ввиду восстановления утраченных способностей у лиц с потерей конечности.

После ампутации конечностей периферические нервы, которые раньше управляли мышцами рук и ног, перестают выполнять работу. Нерв, не передающий импульс мышце, может образовать неврому или вызвать локальную боль, а также спровоцировать фантомную боль культи [2]. При данной реинновации эти нервы хирургическим путем перенаправляют на сохраненные мышцы для максимального увеличения количества независимо контролируемых мышц.

По статистике американской компании, специализирующейся на протезах верхних конечностей, «ArmDynamics» было выявлено, что большинство пациентов готовы на данную операцию только ради уменьшения и облегчения боли, однако, TMR технология также очень полезна для улучшения контроля над миоэлектрическим устройством, особенно для людей с высокой ампутацией конечности [3].

Два электрода накладываются на мышцы с противоположных сторон культи. С помощью этих двух электродов люди с ампутированными конечностями могут заставить руку сжиматься и разжиматься – но технология TMR позволяет задействовать до шести участков мышц для управления компонентами протеза, такими как электрический вращатель запястья или электрический локтевой сустав, с помощью более интуитивного мышления [4].

Когда человек с ампутированной конечностью пытается пошевелить ею, реиннервированные мышцы генерируют сильные и надёжные ЭМГ-сигналы,

которые можно использовать для управления движением протеза (с помощью моторного декодера), что обеспечивает более интуитивное управление протезом. Кроме того, поскольку у людей с реиннервацией мышц может быть несколько различных мышечных сигналов, доступных для управления, это позволяет выполнять более сложные и тонкие движения протезом.

Так, например, лучевой нерв, который начинается от заднего пучка плечевого сплетения и у здорового человека иннервирует преимущественно мышцы разгибатели предплечья, может быть подведен к одному из пучков грудной или трехглавой мышцы, который предварительно был деиннервирован. Сенсоры помещаются над этой мышцей и, когда мозг отдает команду разгибателям кисти, то сигнал через процессор протеза передается на электродвигатель протеза, отвечающий за это движение. Аналогично поступают и с другими нервами, передающими команды на сгибание/разгибание в локтевом и лучезапястном суставах, пронации/супинации, сгибание/разгибание пальцев и так далее [5].

Схема протеза с использованием целевой мышечной реинновации представлена на рис.1.

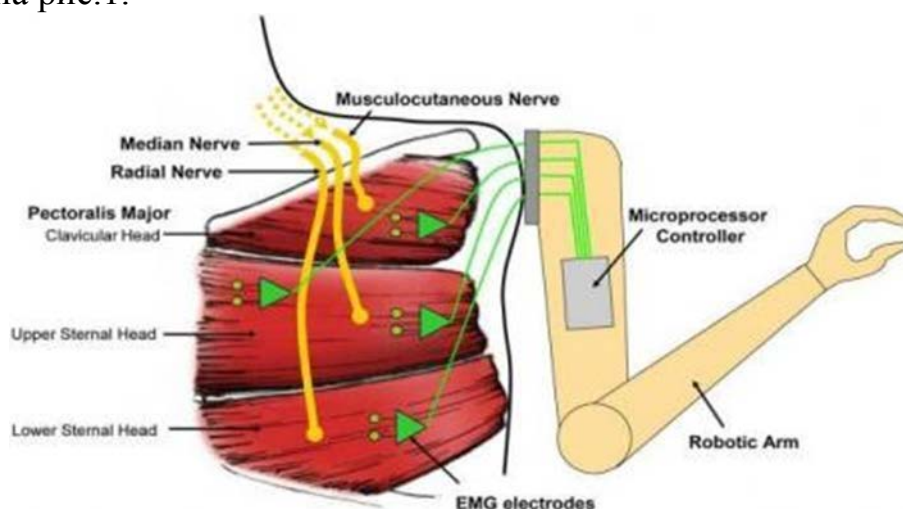


Рис. 1. Схема протеза с использованием TMR-технологии [5]

На данный момент TMR наиболее распространено в таких странах, как Канада, Австралия, Германия и США и других. Так, например, в Венгрии провели исследование на восьми пациентах, целью которого было определить улучшается ли контроль хвата протеза после применения мышечной реинновации. Результаты по трем показателям (процедура оценки состояния кисти в Саутгемптоне, тест на функцию кисти по методу Джебсена-Тейлора и тест «Коробка и кубики») характеризуют, что происходит улучшение через 9-12 месяцев после операции. Автономный электромиографический анализ показал снижение ошибки классификации захвата после операции TMR по сравнению с показателями до операции. Кроме того, большинство испытуемых отметили качественное улучшение ощущений в остаточной и фантомной конечностях после TMR [6].

В России данная технология пока не применяется на пациентах, но известно, что она активно изучается и исследуется учеными бауманки, а также компанией «Моторика». [7,8]

Улучшение функций организма и уменьшение болевых ощущений сделали целевую реиннервацию мышц (TMR) самой перспективной технологией в медицине, связанной с ампутацией, с момента появления миоэлектрических протезов (МЭП). TRM – это, по сути, концепция пересадки нервов, позволяющая максимально увеличить количество независимо управляемых мышц для контроля над МЭП.

Таким образом, анализ научно-технической литературы показал, что исследования в области TMR-технологии является актуальной проблемой, а создание технических устройств, способствующих восполнению утраченных функций у пациентов с ампутацией конечностей, позволит им вести обычный образ жизни, что в конечном итоге снизит экономическое бремя государства.

Библиографический список

1. Targeted Muscle Reinnervation—an Up-to-Date Review: Evidence, Indications, and Technique [Электронный ресурс]: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12081100/> (дата обращения: 23.09.2025)
2. Targeted Muscle Reinnervation for Prosthesis Optimization and Neuroma Management in the Setting of Transradial Amputation [Электронный ресурс]: [https://www.jandsurg.org/article/S0363-5023\(18\)30502-1/abstract](https://www.jandsurg.org/article/S0363-5023(18)30502-1/abstract) (дата обращения: 23.09.2025)
3. ArmDynamics [Электронный ресурс]: <https://www.armdynamics.com/upper-limb-library/introduction-to-targeted-muscle-reinnervation-tmr> (дата обращения: 25.09.2025)
4. Medical Express [Электронный ресурс]: <https://medicalxpress.com/news/2024-01-early-nerve-intervention-pain-complications.html>
5. Портал для инвалидов – Dislife [Электронный ресурс]: <https://dislife.ru/articles/view/1694> (дата обращения: 23.09.2025)
6. Frontiers [Электронный ресурс]: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2018.00164/full> (дата обращения: 26.09.2025)
7. Хабр [Электронный ресурс]: <https://habr.com/ru/companies/bmstu/articles/547790/> (дата обращения: 28.09.2025)
8. Создание бионических протезов рук и ног, Моторика [Электронный ресурс]: <https://motorica.org/info/phantom-pain?ysclid=mghklux49v19814258> (дата обращения: 28.09.2025)

© Халилова З.Ф., 2025

Д.И. ХУЗИН

khuzindanis27@gmail.com

Науч. руковод. – к.т.н., доцент каф. БМИ Ю.О. УРАЗБАХТИНА

Уфимский университет науки и технологий

ИНТРАОРАЛЬНЫЙ СКАНЕР

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы функционирования и применения интраоральных сканеров в современной стоматологии. Приведены принципы работы устройств, основанные на технологиях структурированного света и фотограмметрии для создания точных 3D-моделей полости рта. Описана классификация сканеров по технологии сканирования, типу подключения и конструктивным особенностям для различных клинических задач.

Ключевые слова: интраоральный сканер; цифровая стоматология; 3D-модель; структурированный свет; фотограмметрия; протезирование; ортодонтия.

Интраоральный сканер – это современное цифровое стоматологическое устройство, позволяющее быстро и точно создавать 3D-модель полости рта пациента. Устройство сканирует полость рта, делая тысячи небольших снимков, которые компьютер затем объединяет в подробную 3D-модель для последующих этапов лечения.

Интраоральный сканер появился в стоматологии как современный цифровой инструмент, который произвел революцию в области снятия оттисков и создания моделей полости рта. Первый настоящий интраоральный сканер был представлен на рынке в 2006 году компанией Cadent и изначально использовался для получения цифровых ортодонтических оттисков.

Интраоральные сканеры используются во многих областях стоматологии, таких как:

- Протезирование: позволяет создавать точные модели коронок, мостов, виниров и зубных протезов, обеспечивая лучшую посадку и сокращая время лечения.

- Имплантология: помогает точно спланировать положение имплантатов, повышая эффективность лечения и минимизирует риск осложнений.

- Ортодонтия: используется для планирования лечения и изготовления прозрачных элайнеров, также используется для контроля хода лечения и внесения корректировок хода лечения.

- Диагностика: позволяет оценить состояние зубов и десен, выявить патологии, а также наблюдать за стираемостью зубов и изменениями прикуса.

– Профилактика: позволяет регулярно контролировать состояние полости рта, выявляя нарушения на ранней стадии.

Сканер работает, определяя тысячи точек на поверхности зубов и дёсен, создавая трёхмерную цветную 3D-модель. Это позволяет с высокой точностью воспроизводить анатомию полости рта, устраняя необходимость в традиционном, зачастую неудобном, снятии оттисков с помощью зубопротезного материала. Развитие этой технологии способствовало сокращению сроков лечения, повышению точности протезирования и повышению комфорта пациентов.

В стоматологии используется несколько типов интраоральных сканеров, различающихся по технологии работы, конструкции и клиническому применению. Наиболее популярные из них:

– Сканеры структурированного света: они используют свет для создания точных трёхмерных изображений зубов и дёсен. Они создают цветные 3D-модели, точно воспроизводящие поверхность полости рта. Примерами служат 3Shape TRIOS 5 (рисунок 1) и Dentsply Sirona CEREC Primescan (рисунок 2).



Рис. 25. 3Shape TRIOS 5



Рис. 26. Dentsply Sirona CEREC Primescan

– Сканеры со встроенной фотограмметрией: современные устройства, такие как Shining 3D Aoralscan Elite (рисунок 3), сочетают в себе традиционное сканирование с помощью IOS и передовую фотограмметрию, обеспечивая сверхточную регистрацию положения имплантатов и геометрии полости рта.



Рис. 27. Shining 3D Aoralscan Elite

- Беспроводные и проводные сканеры: существуют модели, работающие без кабеля, что упрощает работу стоматолога, а также классические проводные модели.

- Сканеры со сменными насадками: позволяют настраивать инструмент в соответствии с вашими клиническими потребностями и гарантировать стерильность, например, насадки из нержавеющей стали, пластика или автоклавируемые.

- Специализированные ортодонтические сканеры: позволяют измерять параметры зубных дуг, анализировать размеры зубов и планировать ортодонтическое лечение.

В стоматологии наиболее важные типы интраоральных сканеров различаются, прежде всего, по технологии сканирования и методу сбора 3D-данных:

1. Сканеры структурированного света:

- Они работают, проецируя световой рисунок (например, линии, сетки) на поверхность зуба, который деформируется, образуя неровности и контуры.

- Камеры регистрируют отражение и деформацию этого рисунка, а передовые алгоритмы создают точную 3D-модель.

- Преимущество: Быстрое и точное картирование всей сканируемой области одновременно (а не отдельных точек).

- Недостаток: Они могут быть чувствительны к яркому внешнему свету и блестящим поверхностям зубов, что иногда требует нанесения специального спрея.

- Примеры работы: проецирование белого, синего или зеленого света на зубы, а камеры регистрируют щели и деформации линий в режиме реального времени.

2. Сканеры, сочетающие структурированный свет с фотограмметрией:

- Помимо сканирования структурированным светом, они используют фотограмметрию для сверхточного сканирования положения таких компонентов, как имплантаты. - Они позволяют проводить высокоточное

картирование как поверхностей, так и пространственного расположения элементов в полости рта.

- Эта технология относительно новая и используется в имплантологии и при сложнейшем протезировании.

3. Проводные и беспроводные сканеры:

- Проводные сканеры подключаются к компьютеру через кабель и стабильны, но менее мобильны.

- Беспроводные сканеры обеспечивают большую свободу перемещения и комфорт во время работы, но работают от батареек и могут иметь ограниченное время работы.

- Выбор зависит от уровня комфорта стоматолога и специфики рабочего процесса в клинике.

4. Сканеры со сменными насадками:

- Они позволяют использовать различные насадки, например, из нержавеющей стали, пластика или автоклавируемые, что позволяет адаптировать сканер к процедуре и упростить стерилизацию. – Это решение повышает гигиеничность и функциональность сканера.

5. Специализированные ортодонтические сканеры:

- Они ориентированы на точное измерение зубной дуги и анализ размеров зубов. – Они позволяют создавать цифровые модели для проектирования ортодонтических аппаратов и планирования лечения.

- Они оптимизированы для скорости и качества изображения поверхности [9,11].

Каждый из этих типов имеет свои преимущества и ограничения, и их выбор зависит от потребностей клиники и типа выполняемых стоматологических процедур. Технология структурированного света доминирует благодаря своей скорости и точности, в то время как дополнительные системы, такие как фотограмметрия, расширяют возможности диагностики и лечения. Проводные и беспроводные возможности, а также сменные насадки улучшают эргономику и гигиену работы стоматолога.

Интраоральные сканеры – это современные устройства, которые произвели революцию в стоматологии, позволяя быстро, точно и безболезненно создавать трёхмерные модели полости рта пациента. Они устраняют необходимость в традиционных протезных слепках, значительно повышая комфорт пациента и сокращая время лечения. Разнообразие технологий, от интеграции структурированного света и фотограмметрии до проводных и беспроводных сканеров, позволяет адаптировать инструмент к различным клиническим задачам – от протезирования и имплантологии до ортодонтии. Возможность точного картирования структуры зубов и дёсен позволяет лучше планировать и контролировать лечение, а также снижает риск ошибок. Таким образом, внутриротовые сканеры являются важным инструментом для повышения качества и эффективности стоматологической помощи и повышения комфорта пациента.

Библиографический список

1. Amber Clinic. Сканер внутриротовой: как он работает? [Электронный ресурс]. – URL: <https://amber-clinic.pl/skaner-wewnatrzustny-ja-dziala/> (дата обращения: 08.11.2025).
2. Radioklinika. Сканирование внутриротовое: применение сканера [Электронный ресурс]. – URL: <https://radioklinika.pl/skanowanie-wewnatrzustne-zastosowanie-skanera/> (дата обращения: 09.11.2025).
3. Ratynscy Stomatologia. Что такое внутриротовой сканер и каково его применение в стоматологии? [Электронный ресурс]. – URL: <https://ratynscy.pl/czym-jest-skaner-wewnatrzustny-i-jakie-ma-zastosowanie-w-stomatologii/> (дата обращения: 09.11.2025).
4. Neos Stomatologia. Что такое внутриротовой сканер и каково его применение? [Электронный ресурс]. – URL: <https://neos-stomatologia.pl/blog/czym-jest-skaner-wewnatrzustny-i-jakie-ma-zastosowanie> (дата обращения: 08.11.2025).
5. Primadent. Установка первого сканера Lava C.O.S. в Польше 3М ESPE [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.primadent.pl/blog/instalacja-pierwszego-skanera-lava-c-o-s-w-polsce-3m-espe> (дата обращения: 08.11.2025).
6. Dental Rotors. Внутриротовые сканеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://dental-rotors.com/pl/skanery-wewnatrzustne/> (дата обращения: 08.11.2025).
7. Dental Rotors. Как работают внутриротовые сканеры? [Электронный ресурс]. – URL: <https://dental-rotors.com/pl/jak-dzialaja-skanery-wewnatrzustne/> (дата обращения: 08.11.2025).
8. NB Edu. Сканирование внутриротовыми сканерами [Электронный ресурс]. – URL: <https://nbedu.pl/skanowanie-skanerami-wewnatrzustnymi/> (дата обращения: 08.11.2025).
9. CADxpert. Как работает 3D-сканер и каково применение этих устройств? Все, что нужно знать о 3D-сканерах [Электронный ресурс]. – URL: <https://cadxpert.pl/baza-wiedzy/artykuly/jak-dziala-skaner-3d-i-jakie-jest-zastosowanie-tych-urzadzen-wszystko-co-musisz-wiedziec-o-skanerach-3d/> (дата обращения: 09.11.2025).
10. Amadar. Внутриротовые и лабораторные сканеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://amadar.pl/pl/menu/skanery-wewnatrzustne-i-laboratoryjne-200.html> (дата обращения: 07.11.2025).
11. Smileline. Внутриротовые сканеры [Электронный ресурс]. – URL: <https://smileline.pl/skanery-wewnatrzustne/> (дата обращения: 08.11.2025).
12. Dentalstore. Рейтинг внутриротовых сканеров 2025 [Электронный ресурс]. – URL: <https://dentalstore.pl/blog/ranking-skanerow-wewnatrzustnych-2025> (дата обращения: 07.11.2025).
13. Dentalmaster. Внутриротовые сканеры: типы и применение [Электронный ресурс]. – URL: <https://dentalmaster.pl/skanery-wewnatrzustne-rodzaje-i-zastosowanie/> (дата обращения: 08.11.2025).

14. Mikran. CAD-CAM: Внутриротовые сканеры [Электронный ресурс]. – URL: https://mikran.pl/pl/idc/72_12673/CAD-CAM/Skanery-wewnatrzustne (дата обращения: 08.11.2025).
15. Борчик, Т. Внутриротовые сканы [Электронный ресурс] / Т. Борчик. – URL: <https://borczyk.pl/skany-wewnatrzustne/> (дата обращения: 07.11.2025).
16. Xray.pl. Внутриротовое сканирование: преимущества [Электронный ресурс]. – URL: <https://xray.pl/skanowanie-wewnatrzustne-zalety/> (дата обращения: 08.11.2025).

© Хузин Д.И., 2025

СПОСОБЫ УПРАВЛЕНИЯ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРОТЕЗОМ

Аннотация: развитие науки и техники позволило ученым создать протезы, управляемые при помощи регистрации биоэлектрических потенциалов тела человека, которые обладают: высокой силой захвата и большим количеством степеней свободы. В отличие от механического протеза, данный протез, помогает пациенту держать правильную осанку, и исключает искривление позвоночника в сторону из-за постоянного маневрирования туловищем.

Ключевые слова: биоэлектрические протезы, методы управления, снимаемые сигналы, система управления биоэлектрическими протезами.

Современные биоэлектрические протезы обычно управляются одним из трех основных методов управления (рис. 1): нейрокомпьютерный, нейроэлектрический, электромиографический (миоэлектрический).



Рис. 1. Современные биоэлектрические протезы:

- а – биоэлектрический протез руки с кистью Michelangelo [1];
б – биоэлектрический чувствительный протез руки SmartHand [2]

В нейрокомпьютерном методе в качестве исходной информации используется сигнал с подкорки головного мозга. Сигнал снимается с помощью отведений, которые вживляются в кору головного мозга. Полученные данные обрабатываются и передаются на механическую часть протеза. Протезы с данными видом управления используют люди, страдающие от паралича конечностей, вызванного нарушением нейронных связей между мозгом и управляемым органом. Основным недостатком данного метода является его

инвазивность, которая создает риск заражения или повреждения мозга при вживлении электродов и эксплуатации протеза [3].

Нейроэлектрический метод управления использует сигналы, снятые с активных двигательных нервов человека. В данном методе электроды могут вживляться в нервную ткань (регенеративный, электрод-манжета) или быть установленными над нервами [4]. Главными плюсами нейроэлектрического метода являются: возможность возвращения чувствительности путем электрической стимуляции сенсорных нервных волокон и отсутствие зависимости от отвечающих за функцию мышц отсутствующей конечности. К недостаткам метода управления относятся: инвазивность, низкоамплитудный информативный сигнал по сравнению с окружающими источниками биопотенциалов, необходимость организации чрескожного интерфейса, невозможность использования при полном параличе конечностей. Основным риском при использовании таких протезов является возможность разрушения или повреждения нерва и окружающих его тканей, послеоперационное заражение организма [3].

В электромиографическом методе в качестве исходной информации для управления протезом используется миоэлектрический сигнал. Миоэлектрический сигнал – сигнал, который снимается с возбужденных мышечных волокон или при изменении объема мышц при их сокращении.

Сущность такого способа управления состоит, в регистрации с помощью двух электродов на культе считывается биоэлектрический сигнал активности мышц. Затем слабое напряжение микровольтового диапазона усиливается и в виде управляющих сигналов передается микроконтроллеру блока управления, где анализируется и преобразуется в команду для исполнительного механизма протеза (рис. 2) [5].

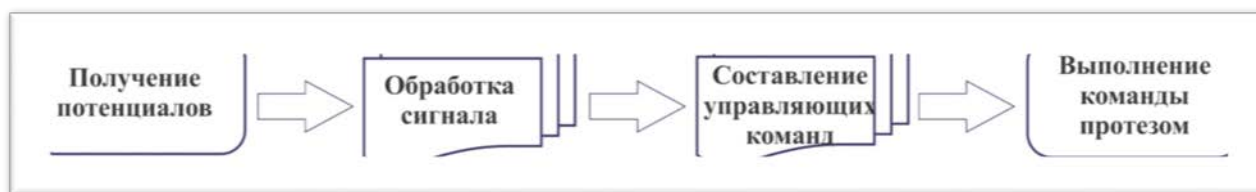


Рис. 2. Блок-схема работы системы управления протезом

Главными плюсами электромиографического метода управления является его неинвазивность и простота организации управления протезом. Результат работы протезов с таким методом управления напрямую зависит от нескольких факторов: от количества информативных площадей, от расположения электродов на информативной поверхности, изменения положения электродов в процессе эксплуатации. Основным условием для использования протезов с электромиографическим методом управления является сохранность активности и целостности мышечного волокна, отвечающего за управление отсутствующей конечности [6].

Одним из примеров разработки современных миоэлектрических протезов является новая модель биоэлектрического протеза BeBionic Small (рис. 3), разработанного компанией RSLSteepe. Данное устройство имеет подушечки на кончиках пальцев для работы с мелкими предметами.



Рис. 3. Биоэлектрическая рука BeBionicSmall компании RSLSteepe [7]

Каждый палец такой руки имеет собственный моторчик, микропроцессор встроенный в блок формирования команд следит за положением каждого пальца. Данный протез обладает 14 степенями захватов для того чтобы контролировать силу хватки предметов. В руку встроена функция «автозахвата» – если процессор понимает, что предмет сейчас выпадет из протеза, он усиливает силу захвата автоматически. Рука имеет угол поворота 360° [7].

Несмотря на успехи в протезировании и организации управления протезами, отрасль протезирования значительно отстает в технологическом развитии от общетехнического развития науки в целом, и многие проблемы протезов остаются нерешенными до сих пор. При эксплуатации современных протезов пациенты сталкиваются с такими проблемами как большой вес устройства, анатомическое несоответствие моделей здоровой конечности, необходимость прилагать дополнительные усилия, которые изматывают человека. Все приведенные недостатки в совокупности заставляют пациента прилагать чрезмерные усилия, доставляют дискомфорт и напоминают о протезе, делая его использование обременительным и лишая естественности в управлении, присущей живой конечности. Одним из критериев, который позволит добиться естественности управления является изучение механизмов работы здоровых конечностей, биоэлектрических процессов в них и их взаимодействие, чтобы определить необходимый набор характеристик биоэлектрического сигнала для качественного управления протезами.

Например, выделение определенных характеристик миоэлектрического сигнала активных мышц может позволить организовать управление протеза, использующего шаблоны наборов гармоник спектра сигнала, тем самым обеспечивая управляющую систему большим количеством функций с

минимальным количеством отведений. Организация подобного управления требует миографических исследований биоэлектрической активности целевых мышц в диапазоне от 0 до 10000 Гц без фильтрующих элементов, которыми будет осуществляться управление протеза. Качество полученных во время исследования данных зависит от чувствительности и помехоустойчивости диагностирующих устройств.

Библиографический список

1. Протезирование верхних конечностей // Официальный сайт компании OttoBock [Электронный ресурс] URL: <http://www.ottobock.ru/prosthetics/upper-limb-prosthetics/>, (дата обращения: 05.10.2025). – Режим доступа: свободный
2. Cipriani Ch., Controzzi M., Carrozza M. Ch. The SmartHandtransradial prosthesis // J. of NeuroEngineering and Rehabilitation. – 2011. – № 29.
3. Турушев Н.В., Григорьев М.Г., Авдеева Д.К. Применение наносенсоров для построения нанобиоинтерфейса для миотонических протезов // Современные техника и технологии: сборник трудов XX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск: ТПУ, 2014. – С. 361-362.
4. Turushev, N. V., Grigoriev, M. G. and Avdeeva, D.K. Bioelectrical nanosensors: Prosthesis interface appliance perspectives // 2014 the 4th International Workshop on Computer Science and Engineering – Summer. Dubai: Science and Engineering Institute, 2014.
5. Чернышев А.А., Мустецов Н.П. Алгоритм управления многофункциональным протезом руки // Информационные технологии в медицине. – 2014. – № 122. – С. 167–172.
6. Воротников С.А., Струнин В.С., Выборнов Н.А Биометрическая система управления протезом руки // Прикаспийский журнал: Управление и высокие технологии. – 2013. – № 3. – С. 147–162.
7. BeBionic Small // Официальный сайт компании BeBionic [Электронный ресурс] URL: http://bebionic.com/the_hand/bebionic_small, (дата обращения: 05.10.2025). – режим доступа – свободный.

© Цибрин А.Ю., 2025

СЕКЦИЯ 3.3. ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.396

Я.В. АЛЕКСАКИНА

aleksakinayv@uust.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Г.С. ВОРОНКОВ

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СВЕРХШИРОКОПОЛОСНЫХ (UWB) СЕТЯХ

Аннотация: в работе рассматриваются типы и спектральные характеристики импульсных, многополосных, гауссовских и моноимпульсных сигналов для Ultra-Wideband (UWB) систем. Проведён сравнительный анализ их преимуществ для высокоточного позиционирования и беспроводной передачи данных. Обосновываются перспективы адаптивного выбора сигнала для повышения устойчивости системы к помехам.

Ключевые слова: Ultra-Wideband; UWB; спектр сигнала; гауссов импульс; моноимпульс; импульсный сигнал; многополосный сигнал; BER; SINR; радиосвязь; позиционирование; помехоустойчивость; оптимизация; адаптация; спектральные характеристики.

Современные беспроводные коммуникации характеризуются стремительным ростом требований к скорости передачи данных, точности позиционирования и энергоэффективности устройств. Для устройств интернета вещей (IoT) появляются дополнительные требования: необходимость обработки большого объема информации в реальном времени и высокая плотность устройств, работающих в ограниченном радиочастотном спектре. Повышение плотности использования радиочастотных каналов и рост числа помех (в том числе и преднамеренных) делает традиционные узкополосные системы менее эффективными, особенно при работе в многолучевых средах. По этим причинам в настоящее время все больше актуальной становится технология Ultra-Wideband [1–3].

Ultra-Wideband (UWB) – это технология беспроводной передачи данных, использующая сверхширокую полосу частот (обычно более 500 МГц) для передачи коротких и мощных импульсных сигналов. Здесь данные передаются с помощью очень коротких импульсов длительностью в наносекунды или меньше, что обеспечивает высокую временную разрешающую способность и широкий спектр частот. Это позволяет снизить влияние помех и многолучевых искажений, которые часто возникают в радиоканалах. UWB может применяться в

краткосрочной высокоскоростной беспроводной связи (Wi-Fi, WPAN [4,5]), в радиолокации и позиционировании с высокой точностью [6,7], беспилотных летательных аппаратах [8,9].

В UWB различают несколько основных типов сигналов (рис. 1):

- импульсные UWB сигналы (Impulse Radio UWB): основой таких сигналов является последовательность сверхкоротких импульсов длительностью в наносекунды или меньше [10,11];
- многополосные UWB сигналы (Multi-band OFDM UWB): сигналы разбиты на несколько частотных поддиапазонов (обычно в диапазоне 3,1– 10,6 ГГц), каждый из которых используется с использованием мультиплексирования с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM) [10];
- гауссовские импульсные сигналы: разновидность импульсных сигналов с гауссовой формой [10,11];
- моноимпульсные сигналы: первая производная гауссовского импульса [10,11].

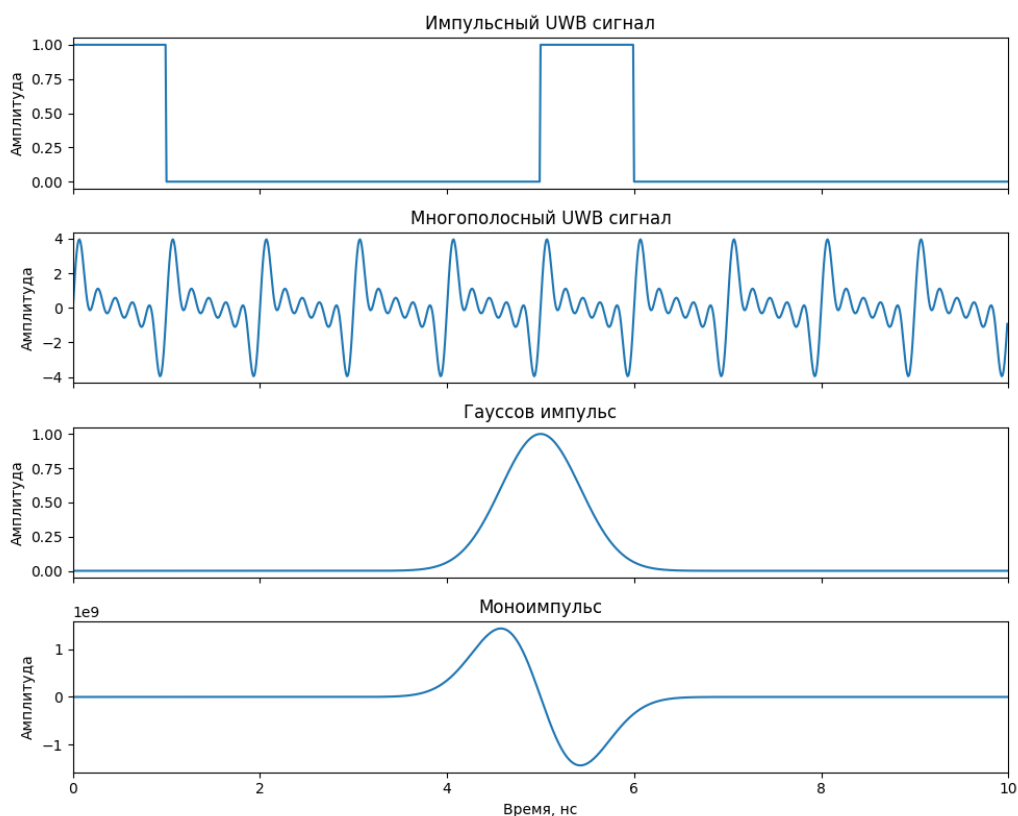


Рис. 1. Формы используемых в UWB сигналов

Чаще всего в UWB системах используют гауссовские импульсы и моноимпульсы [12]. Причины для этого следующие:

- гауссовские импульсы обладают отличной временной локализацией и минимальным воздействием на соседние частотные полосы, что помогает уменьшить взаимные помехи и соблюсти ограничения по радиочастотному спектру. Такая форма обладает минимальной полосой боковых лепестков

(рис. 2), что снижает спектральные искажения и делает сигнал более «чистым» [12];

- моноимпульсы имеют форму одиночного цикла (рис. 2), что обеспечивает еще более высокую устойчивость к шумам и многолучевым искажениям. Благодаря этому моноимпульсы могут создавать широкий эффективный приемный участок в сложных радиоканалах, что улучшает качество приема и коэффициент битовых ошибок (BER) [12];

- эти сигналы являются оптимальными между сложностью генерации и детектирования и эффективностью передачи, они легко моделируются и анализируются, что важно для оптимизации алгоритмов и оценки параметров отношения сигнал/шум+помеха (Signal to Interference + Noise Ratio, SINR) и BER [13];

- импульсные и многополосные сигналы требуют более сложных схем генерации и детектирования, больших ресурсов для обработки сигналов и более сложного оборудования, что увеличивает стоимость и сложность реализации [14];

- спектр импульсных сигналов имеет ярко выраженные боковые лепестки (рис. 2), что означает потенциальные помехи соседним пользователям и требует введения фильтрации или оконных функций [14];

- многополосные сигналы позволяют адаптироваться к условиям внешнего эфира, но спектр становится неплотным (рис. 2), что важно для коммуникаций, но не для позиционирования, а также это несет риск интерференции на несущих [14].

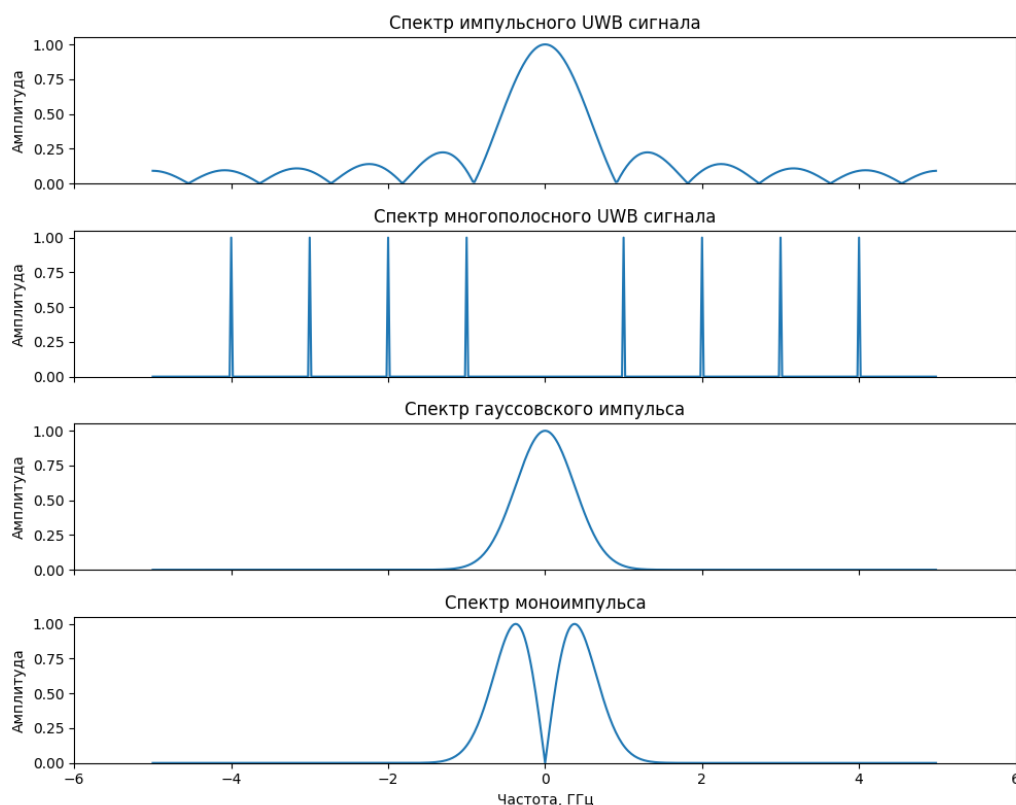


Рис. 2. Спектры используемых в UWB сигналов

Проведенный анализ показал, что для UWB-систем оптимальными являются гауссовские импульсы и моноимпульсы благодаря их спектральной компактности, минимальным боковым лепесткам, устойчивости к помехам и простоте реализации. В то же время импульсные и многополосные сигналы уступают по спектральной эффективности, сложности аппаратного исполнения и устойчивости к многолучевым искажениям.

Однако вопрос выбора оптимальной формы импульса для конкретных условий передачи остается открытым и требует дальнейших исследований. Необходима комплексная оценка влияния длительности импульса и его временной огибающей (как гауссовой, так и производной разного порядка) на параметры BER и SINR в реальных каналах связи (с учетом стохастических процессов); перспективным направлением является изучение промежуточных форм между гауссовым импульсом и моноимпульсом, а также актуальна задача гибкого переключения формируемого сигнала на приемнике и передатчике с учетом текущих условий среды, что может использоваться для активного противодействия преднамеренным помехам и адаптации к особенностям канала.

Библиографический список

1. Minoli D., Occhiogrosso B. Ultrawideband (UWB) Technology For Smart Cities IoT Applications // 2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2). 2018. С. 1–8.
2. Mohanty S., Tripathy A., Das B. An overview of a low energy UWB localization in IoT based system // 2021 International Symposium of Asian Control Association on Intelligent Robotics and Industrial Automation (IRIA). 2021. С. 293–296.
3. Zhao Y. и др. Microwave HeartPrint: Non-contact Continuous Authentication Based on Multi-View Dual-Domain Feature of Heart Micro-motion Using UWB Bio-Radar // IEEE Internet of Things Journal. 2025. С. 1–1.
4. Adriaens L. и др. High-Precision Wireless Synchronization: When Wi-Fi meets UWB // 2025 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII). 2025. С. 1509–1515.
5. Li X. и др. UWB-Fi: Pushing Wi-Fi towards Ultra-wideband for Fine-Granularity Sensing // Proceedings of the 22nd Annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. С. 42–55.
6. Elsanhoury M. и др. Precision Positioning for Smart Logistics Using Ultra-Wideband Technology-Based Indoor Navigation: A Review // IEEE Access. 2022. Т. 10. С. 44413–44445.
7. Ridolfi M. и др. Self-calibration and Collaborative Localization for UWB Positioning Systems: A Survey and Future Research Directions // ACM Comput. Surv. 2021. Т. 54, № 4. С. 88:1-88:27.
8. Yang B. и др. High-Precision UWB-Based Localisation for UAV in Extremely Confined Environments // IEEE Sensors J. 2022. Т. 22, № 1. С. 1020–1029.

9. Zeng Q. и др. A UAV Localization System Based on Double UWB Tags and IMU for Landing Platform // IEEE Sensors J. 2023. Т. 23, № 9. С. 10100–10108.
10. Molisch A. F. Ultra-wideband communications : An overview // URSI Radio Science Bulletin. 2009. Т. 2009, № 329. С. 31–42.
11. Win M. Z., Scholtz R. A. Impulse radio: how it works // IEEE Commun. Lett. 1998. Т. 2, № 2. С. 36–38.
12. Zeinalpour-Yazdi Z., Nasiri-Kenari M. Performance analysis and comparisons of different ultra-wideband multiple access modulation schemes // IEE Proc., Commun. 2006. Т. 153, № 5. С. 705.
13. Porcino D., Hirt W. Ultra-wideband radio technology: potential and challenges ahead // IEEE Communications Magazine. 2003. Т. 41, № 7. С. 66–74.
14. Shimizu Y. и др. Performance comparison between UWB-IR and MB-OFDM with transmit diversity in implant communications // Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2015. Т. 2015. С. 5469–5472.

© Алексакина Я.В., 2025

АЛГОРИТМ ПОИСКА И ФИЛЬТРАЦИИ СИГНАЛОВ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ СВЯЗИ

Аннотация: статья посвящена проблеме обнаружения сигналов в гидроакустических каналах связи. Приведена методика решения данной проблемы с помощью применения корреляционного метода и фильтра Калмана.

Ключевые слова: гидроакустический канал связи; измерение во время бурения; корреляционный анализ; фильтр Калмана.

Корреляционный анализ, как и спектральный, играет ключевую роль в теории сигналов. Его основная задача — количественно оценить степень схожести между различными сигналами. Корреляционный анализ используется для оценки временных свойства сигнала. [1].

Автокорреляционная функция (АКФ) для детерминированного сигнала с конечной энергией описывается как интеграл по всей временной оси от произведения сигнала на его же копию, сдвинутую на некоторое время:

$$k(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)S(t - \tau)dt \quad (1)$$

Взаимная корреляционная функция (ВКФ) показывает взаимную связь двух сигналов во времени [2]. Формула ВКФ по своей структуре аналогична АКФ, но под знаком интеграла перемножаются два разных сигнала, один из которых сдвинут по времени:

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)U(t - \tau)dt \quad (2)$$

Основное различие между АКФ и ВКФ заключается в том, что АКФ отражает степень совпадения сигнала с самим собой при различном временном сдвиге, тогда как ВКФ позволяет анализировать степень сходства между двумя различными сигналами при сдвиге одного из них.

Корреляционные методы широко применяются в области гидроакустической связи (ГАС), где они используются для анализа и обработки сигналов.

На тему калибровки гидрофонов проведено сравнительно небольшое количество исследований [3]. В связи с этим для повышения точности измерений иногда требуется задействовать несколько датчиков одновременно. В работе [4] рассматривается применение нескольких волоконно-оптических гидрофонов для

выявления утечек в системе водоснабжения. Для улучшения точности измерений использовался метод взаимной корреляции сигналов, поступающих от различных гидрофонов. Это позволило снизить влияние внешнего шума без ухудшения точности оценки временной задержки сигнала.

В исследовании [5] коэффициент корреляции применялся для анализа акустических сигналов, издаваемых рыбами в гидроакустическом канале связи. Данный подход оказался эффективным для аппроксимации сигналов, а высокие значения коэффициента корреляции свидетельствовали о значительной степени их совпадения.

В статье [6] описан метод мониторинга положения бурового долота с использованием сейсмических данных, полученных в процессе бурения. Определение источника сигнала происходило путём сопоставления корреляции между принятым сигналом и эталонной трассой, которая выступала в роли виртуального источника в рамках метода сейсмической интерферометрии. Таким образом, нахождение корреляции между принятым сигналом и эталоном может использоваться для получения времени прихода сигнала.

ГАС нашла применение в бурении. По сравнению с проводными методами передачи данных, использование гидроакустического канала оказывается более надёжным и экономически эффективным методом [7]. Однако передача данных по такому каналу ограничена по скорости и составляет всего несколько бит в секунду [8].

Дальность передачи сигнала в гидроакустической среде может достигать нескольких километров, что делает характеристики самого канала крайне важными для качества связи. На сигнал оказывают влияние такие факторы, как вязкое рассеивание, трение о стенки скважин, затухание и многолучевое распространение [9].

Основной источник помех для сигнала – это буровой насос [10,11].

Также на уровень шумов влияет расположение датчика инклинометрии относительно бурового долота: чем ближе он установлен к долоту, тем выше шум; если же датчик находится дальше – сигнал приходит с задержкой [12,13].

Таким образом, обнаружение сигнала в гидроакустическом канале осложняется конструктивными особенностями буровой установки, а также различными источниками помех.

Разработан алгоритм поиска и фильтрации сигналов гидроакустических систем связи. В его основе лежит использование времяимпульсной модуляции. На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма. Алгоритм реализован с помощью программы на языке Python.

Обнаружение импульсов осуществляется на основе их формы с использованием вычисления коэффициента корреляции, а для выделения огибающей сигнала применяется фильтр Калмана. Для определения характера помехи используется спектральный анализ.

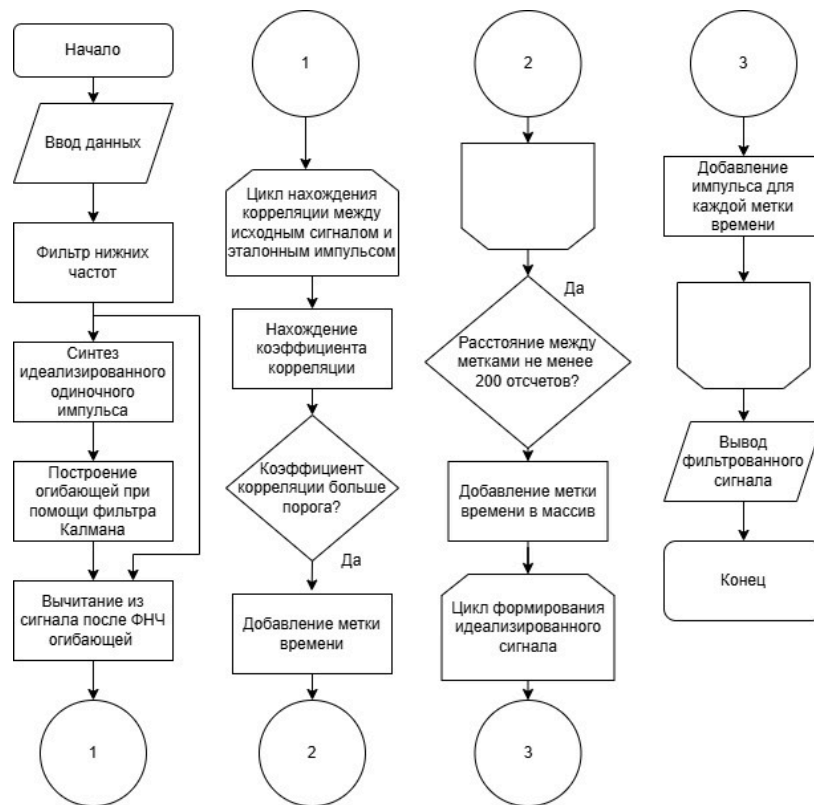


Рис. 1. Блок-схема алгоритма

Далее приведен принцип работы программы.

На вход поступает исходный сигнал, далее он проходит через фильтр нижних частот (ФНЧ), где задается частота дискретизации и частота среза.

Затем происходит построение идеализированного импульса. При анализе исходного сигнала выявлено, что типичный импульс имеет колоколообразную форму и длительность 1200 отсчетов, амплитуду – 250 уровней. Для построения идеализированного импульса была использована косинусоидальная функция в заданном диапазоне отсчетов. На рисунке 2 представлены идеализированный импульс и импульс из исходного сигнала.

Затем происходит построение огибающей при помощи фильтра Калмана, где задаются параметры – шум измерения и шум процесса. Огибающая сигнала представлена на рисунке 3. Фильтр Калмана реализован с использованием метода KalmanFilter библиотеки filterpy.kalman. Далее из сигнала после ФНЧ вычитается огибающая, это позволяет убрать колебания уровня сигнала.

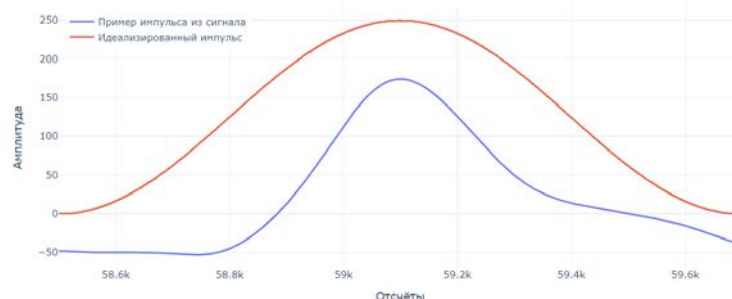


Рис. 2. Идеализированный импульс и импульс из исходного сигнала



Рис. 3. Огибающая сигнала

Далее расположен цикл нахождения коэффициента корреляции между сигналом, полученным в результате вычитания огибающей, и идеализированным импульсом, где задаются параметры – пороговый коэффициент корреляции и шаг сдвига по времени фильтруемого сигнала. Применяется метод `pandas.DataFrame.corr` из библиотеки Pandas, который соответствует нахождению коэффициента корреляции Пирсона. В результате получается массив меток времени.

Затем осуществляется обновление массива меток: если расстояние между ними превышает 200 отсчетов, они записываются в массив.

Происходит цикл формирования идеализированного сигнала – добавление идеализированных импульсов в найденные моменты времени.

Строится график, иллюстрирующий работу фильтра. Он представлен на рисунке 4.

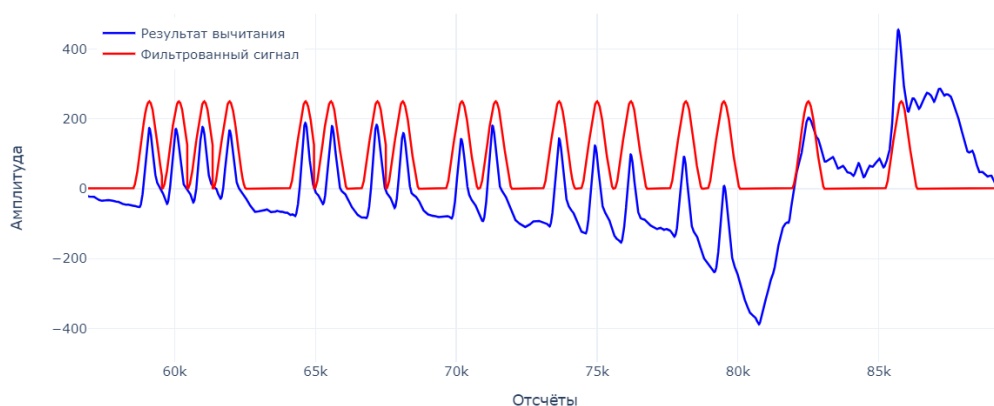


Рис. 4. Результат работы фильтра

Итак, представленный алгоритм приёмника дает возможность надёжного выделения полезного сигнала даже в условиях сильной зашумленности сигнала. Результаты работы подтверждают целесообразность использования

разработанного метода в системах ГАС, особенно в задачах измерений во время бурения.

Библиографический список

1. Фазлутдинова А. И. Корреляционный анализ акустических сигналов. Взаимная корреляционная функция: 446 // Молодой ученый. Россия Казань: Издательство Молодой ученый, 2022. № 446. С. 60–64.
2. ЭБ УУНиТ - Основы теории передачи сигналов: учебное пособие [Электронный ресурс]. URL: https://elib.bashedu.ru/dl/local/SultanovA_Osnovi%20teorii%20pered.signalov_up_2023.pdf/info (дата обращения: 13.04.2025).
3. Schwardt M. и др. Natural and Anthropogenic Sources of Seismic, Hydroacoustic, and Infrasonic Waves: Waveforms and Spectral Characteristics (and Their Applicability for Sensor Calibration) // Surv Geophys. 2022. Т. 43, № 5. С. 1265–1361.
4. Cross-correlation analysis of multiple fibre optic hydrophones for water pipeline leakage detection | International Journal of Environmental Science and Technology [Электронный ресурс]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-021-03163-y> (дата обращения: 13.04.2025).
5. Kartsan I. и др. Study of hydroacoustic signals in aquaculture as a tool to improve fisheries efficiency // E3S Web Conf. EDP Sciences, 2025. Т. 613. С. 05010.
6. Wilczynski Z. и др. Drill -bit position estimation from drilling data; numerical and field examples from Sweden.
7. Research on data transmission system of acoustic wave while drilling based on OFDM - Zheng - 2023 - IET Communications - Wiley Online Library [Электронный ресурс]. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/cmu2.12553> (дата обращения: 22.11.2024).
8. The Experimental Study of High speed Shear Valve Pulsar Telemetry System in MWD [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/372311318_The_Experimental_Study_of_High_speed_Shear_Valve_Pulser_Telemetry_System_in_MWD (дата обращения: 10.04.2025).
9. A Review of Communication Technologies in Mud Pulse Telemetry Systems [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/12/18/3930> (дата обращения: 10.04.2025).
10. Yan X. и др. Adaptive Noise Cancellation Method for Continuous Wave Mud Channel of MWD // 2020 IEEE 16th International Conference on Control & Automation (ICCA). 2020. С. 289–294.
11. Wu J. и др. A continuous phase-frequency modulation technique and adaptive pump noise cancellation method of continuous-wave signal over mud telemetry channel // Digital Signal Processing. 2021. Т. 117. С. 103147.

12. Yang H. и др. Research on Identification and Suppression of Vibration Error for MEMS Inertial Sensor in Near-Bit Inclinator // IEEE Sensors Journal. 2022. Т. 22, № 20. С. 19645–19655.
13. Yang H. и др. Research on Dynamic Measurement Method of Drilling Tool Attitude Near Bit Based on Suppression of Heavy-Tailed Measurement Noise // IEEE Sensors Journal. 2023. Т. 23, № 16. С. 18384–18395.

© Антипова В.Е., 2025

3.3. ГАЛЕЕВ, А.А. КАБИРОВ

gazuzo050603@gmail.com, aidarcab321@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. И.К. МЕШКОВ

Уфимский университет науки и технологий

РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТРАНСФОРМАЦИИ СОВРЕМЕННОГО ОБЩЕСТВА

Аннотация: статья представляет собой обзор роли информационных технологий в современном обществе, их влияния на экономику, промышленность, образование и социальную коммуникацию. Анализируются процессы цифровизации, интеграция автоматизированных и интеллектуальных систем, а также вызовы, связанные с кибербезопасностью, защитой персональных данных и цифровым неравенством. Подчеркивается двойственный характер ИТ: они открывают возможности для прогресса, но создают риски, требующие этичного и ответственного подхода для устойчивого развития. Статья основана на анализе ключевых тенденций XXI века.

Ключевые слова: информационные технологии, цифровизация, искусственный интеллект, кибербезопасность, цифровое неравенство, автоматизация, общество знаний, персональные данные.

Информационные технологии (ИТ) в XXI веке стали неотъемлемой частью глобальных трансформаций, определяя направления экономического роста, научных исследований и социальной коммуникации. Они формируют основу цифрового общества, где большинство процессов осуществляется в электронно-информационной среде, обеспечивая ускорение обработки данных и повышение эффективности принятия решений. Цифровизация представляет собой процесс, который радикально изменяет модель взаимодействия человека с технологиями и информацией, интегрируя автоматизированные системы, облачные вычисления и искусственный интеллект. Внедрение таких технологий способствует развитию сетевой инфраструктуры и повышению уровня автоматизации в управлении, что влияет на все аспекты человеческой деятельности – от повседневной жизни до профессиональной сферы.

Одним из ключевых аспектов роли ИТ является их влияние на экономику и промышленность. Автоматизация производственных процессов с использованием станков с числовым программным управлением и концепции "умного производства" позволяет интегрировать физические объекты с цифровыми моделями и сетевыми технологиями. Это оптимизирует ресурсы, повышает точность производства и улучшает качество продукции. Системы автоматизированного проектирования (САПР) ускоряют разработку изделий, обеспечивая соответствие заданным параметрам. Однако такой переход требует

от специалистов не только инженерных знаний, но и навыков работы с современным программным обеспечением, что делает рынок труда более требовательным. В результате ИТ способствуют повышению эффективности предприятий, но одновременно создают необходимость постоянного обновления квалификации работников, чтобы не отставать от технологического прогресса.

В социальной и образовательной сферах ИТ открывают новые горизонты для коммуникации и образования. Они обеспечивают доступность знаний через онлайн-курсы и образовательные платформы, делая обучение более интерактивным и персонализированным. Студенты и школьники могут изучать материалы в удобном темпе, расширяя границы традиционного образования. В социальной сфере ИТ способствуют созданию электронных сервисов государственных услуг и систем "умного города", повышая прозрачность управления и вовлеченность граждан. Новые формы общения и взаимодействия между людьми ускоряют обмен информацией, изменяя социальные структуры и культурные особенности общества. ИТ становятся инструментом самореализации и карьерного роста, предоставляя неограниченные возможности для получения знаний и профессионального развития.

Несмотря на преимущества, цифровизация несет ряд вызовов. Главным среди них является проблема защиты персональных данных и конфиденциальности. Каждый шаг в сети оставляет цифровой след, что повышает риски утечек информации и кибератак. Необходимость постоянного обновления знаний и навыков требует от индивидов адаптации к быстрым изменениям, а цифровое неравенство ограничивает доступ к технологиям для определенных слоев населения, усугубляя социальное расслоение. Эти проблемы требуют разработки этических норм и международных стандартов для обеспечения безопасности и устойчивости ИТ. Перспективы развития связаны с интеграцией искусственного интеллекта, нейронных сетей, Интернета вещей и облачных вычислений, что приведет к созданию интеллектуальных экосистем. Однако это также усиливает зависимость общества от технологий, подчеркивая важность надежности и адаптивности систем.

Будущее ИТ видится в формировании интеллектуальных, самообучающихся систем, которые станут основой цифрового общества. Они трансформируют структуру экономики, образования, промышленности и быта, становясь ключевым инструментом управления информационными потоками. Тем не менее, этический и социально ответственный подход к использованию ИТ необходим для достижения устойчивого развития. Особое внимание следует уделить кибербезопасности, ведь каждый новый шаг в развитии технологий увеличивает риски. Не менее важным является вопрос устойчивости технологий и их способности адаптироваться к меняющимся условиям. Специалисты в области ИТ сталкиваются с амбициозными задачами, требующими глубоких знаний и творческого подхода к инновациям.

В заключение, информационные технологии XXI века радикально изменяют общество, становясь фактором социального прогресса и определяющим будущее человечества. Они предоставляют неограниченные

возможности для получения и обработки информации, но одновременно ставят вызовы в виде защиты личных данных и предотвращения несанкционированного доступа. Для полноценного участия в цифровой экономике и обществе знаний необходимо обеспечить доступность ИТ для всех слоев населения. Таким образом, ИТ выступают не только как инструмент прогресса, но и как вызов, требующий комплексного подхода к их развитию и использованию. Это включает в себя не только технические инновации, но и социальные, этические и правовые меры, направленные на минимизацию рисков и максимизацию пользы.

Дальнейшее развитие ИТ будет зависеть от способности общества балансировать между инновациями и ответственностью. Интеграция ИИ и других передовых технологий может привести к созданию более эффективных систем, но только при условии строгого контроля над их воздействием на *privacy* и социальную справедливость. Цифровое неравенство остается одной из самых острых проблем, требующей инвестиций в инфраструктуру и образование. В промышленной сфере автоматизация уже демонстрирует значительные преимущества, но требует переподготовки кадров для предотвращения безработицы среди низкоквалифицированных работников. В образовании ИТ расширяют возможности, но рискуют углубить разрыв между теми, кто имеет доступ к качественным ресурсам, и теми, кто его лишен.

В социальной коммуникации ИТ способствуют глобализации взаимодействия, но одновременно усиливают проблемы дезинформации и манипуляции. Платформы социальных сетей становятся инструментами для распространения идей, но также для кибербуллинга и фейковых новостей. Поэтому разработка алгоритмов для фильтрации контента и обеспечения достоверности информации становится приоритетом. На государственном уровне ИТ используются для улучшения услуг, но требуют защиты от хакерских атак и злоупотреблений. В целом, роль ИТ в современном мире двойственна: они ускоряют прогресс, но требуют осторожного подхода, чтобы избежать негативных последствий.

Перспективы включают дальнейшую интеграцию технологий в повседневную жизнь, что может привести к "умным" городам и домам, где все процессы автоматизированы. Однако это повышает уязвимость к сбоям и атакам, подчеркивая необходимость инвестиций в кибербезопасность. Этические вопросы, такие как использование данных для профилирования пользователей, становятся центральными. Международные стандарты и регуляции, подобные GDPR в Европе, могут служить моделью для глобального подхода. В итоге, ИТ не только трансформируют общество, но и формируют его будущее, требуя от всех участников — от разработчиков до пользователей — активного участия в обеспечении безопасного и справедливого развития.

Таким образом, информационные технологии представляют собой мощный двигатель изменений, влияющий на все сферы жизни. Их эволюция в XXI веке открывает новые возможности для инноваций, но одновременно подчеркивает необходимость баланса между технологическим прогрессом и

социальными ценностями. Общество стоит перед выбором: использовать ИТ для создания более инклюзивного и устойчивого мира или столкнуться с рисками, которые могут усугубить существующие проблемы. В этом контексте образование и осведомленность играют ключевую роль, помогая людям адаптироваться к изменениям и активно участвовать в формировании цифрового будущего.

Библиографический список

1. ITU. Measuring the Information Society Report. International Telecommunication Union, 2018. 204 p.
2. Vrabie, Catalin. (2015). Grown Up Digital: How The Net Generation Is Changing Your World. HOLISTICA Journal of Business and Public Administration. 6. 127-129.
3. Hongladarom, Soraj. (2020). Shoshana Zuboff, The age of surveillance capitalism: the fight for a human future at the new frontier of power: New York: Public Affairs, 2019, 704 pp. ISBN 978-1-61039-569-4 (hardcover) 978-1-61039-270-0 (ebook). AI & SOCIETY. 38. 10.1007/s00146-020-01100-0.
4. Negroponte, N. (2000). From being digital to digital beings. IBM Systems Journal. 39. 417 - 418. 10.1147/sj.393.0417.

© Галеев З.З., Кабиров А.А., 2025

3.3. ГАЛЕЕВ, Н.В. ДЕРЯБИН, А.И. АККУЧУКОВА
gazuzo050603@gmail.com, derabinn30@gmail.com,
lina.ackuchukova@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. А.З. Тлявлин

Уфимский университет науки и технологий

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ БЕССЕЛЯ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

Аннотация: статья рассматривает численный метод решения модифицированного уравнения Бесселя для уравнений Пуассона и бигармонического в цилиндрических координатах. Метод основан на дискретном преобразовании Ханкеля и функциях Грина с использованием модифицированных функций Бесселя. Он преодолевает проблемы масштабирования при больших порядках и волновых числах, обеспечивая применение высокодетализированных сеток в азимутальном направлении. Тестирование на монотонно убывающих и осциллирующих функциях демонстрирует высокую точность и эффективность. Метод превосходит диадическую квадратуру по устойчивости и точности для сложных задач. Анализ подчеркивает его применимость в моделировании осесимметричных потоков, таких как турбулентные струи и конвекция.

Ключевые слова: модифицированные функции Бесселя, уравнение Пуассона, бигармоническое уравнение, дискретное преобразование Ханкеля, численное решение, цилиндрические координаты, масштабирование функций.

В современной инженерной практике решение дифференциальных уравнений в цилиндрических координатах представляет значительный интерес, особенно в областях, связанных с моделированием физических процессов, таких как течение жидкостей, теплоперенос и электромагнитные поля. Одной из ключевых задач является решение уравнения Пуассона, которое часто возникает в контексте численного моделирования. Традиционные методы, основанные на преобразованиях Фурье в угловой и осевой координатах, приводят к системе модифицированных уравнений Бесселя, где основная сложность связана с поведением функций Бесселя при больших значениях порядка n и волнового числа k . Эти функции обладают экспоненциальным ростом или убыванием, что приводит к проблемам переполнения или потери точности в численных расчетах. Предыдущие подходы, такие как метод Патакки и Грингарда, использующий интегральные представления и диадическую квадратуру, оказываются неэффективными для высокодетализированных сеток, где требуется большое количество узлов в азимутальном направлении, например, 160 точек для турбулентной струи или 512 для конвекции. Диадическая квадратура, в

частности, полагается на адаптивные схемы интегрирования, которые фокусируются на особых точках уравнения, но при увеличении n и k она теряет стабильность из-за концентрации ошибок вблизи полюсов функций Бесселя, приводя к неконтролируемому росту вычислительных погрешностей или даже к отказу алгоритма.

Разработанный метод предлагает альтернативу, основанную на дискретном преобразовании Ханкеля, которое естественно подходит для задач в полярных координатах. Преобразование Ханкеля позволяет разложить функцию по обычным функциям Бесселя, что упрощает интегрирование и решение. Функция Грина для модифицированного уравнения Бесселя строится с использованием модифицированных функций Бесселя первого и второго рода, что обеспечивает автоматическое наложение граничных условий излучения. Однако ключевой инновацией является способ обхода проблем масштабирования: вместо прямого вычисления продуктов функций, которые могут приводить к переполнению, используются их отношения. Это достигается через рекурсивные соотношения и асимптотические формулы, позволяющие вычислять необходимые величины стабильно даже для больших n и k . Рекурсивные соотношения для модифицированных функций Бесселя, такие как $I_{n+1}(z) = (2n/z)I_n(z) + I_{n-1}(z)$ для функций первого рода и аналогичные для второго рода, позволяют вычислять значения последовательно, избегая прямого обращения к большим экспонентам. Асимптотические приближения, например, для больших аргументов, где $I_n(z) \sim e^z / \sqrt{2\pi z}$, используются для нормализации и предотвращения переполнения в промежуточных шагах. Метод также включает интерполяцию входных данных на узлы преобразования, используя полиномиальную интерполяцию на чебышевских узлах, что обеспечивает гибкость в работе с произвольными сетками. Чебышевские узлы минимизируют эффект Рунге и обеспечивают равномерную аппроксимацию, что критично для точного представления осциллирующих функций в азимутальном направлении.

Тестирование метода проводилось на специально подобранных функциях, которые варьируются от монотонно убывающих до осциллирующих, чтобы проверить устойчивость к различным типам входных данных. Ошибка оценивалась по максимальной норме, и результаты показали достижение машинной точности для большинства случаев, с линейной зависимостью вычислительного времени от числа узлов. Сравнение с диадической квадратурой, которая ранее использовалась в аналогичных задачах, выявляет преимущества нового подхода: диадическая квадратура начинает давать сбои при n около 40, из-за концентрации узлов квадратуры вблизи особых точек, что приводит к потере точности или ошибкам переполнения. В то время как новый метод успешно работает для n до 128 и выше, сохраняя точность и устойчивость. Это особенно важно для приложений, где требуется высокая разрешающая способность, например, в астрофизике с 3200 точками в азимуте. Для тестирования использовались тестовые функции вида $f(r) = e^{-kr}$ для монотонных случаев и $f(r) = \sin(kr)/r$ для осциллирующих, что позволяет оценить

поведение метода при различных частотах. Вычислительная эффективность подтверждается линейным ростом времени с числом узлов N , что делает метод масштабируемым для параллельных вычислений на GPU или кластерах.

Дополнительно метод расширен на решение бигармонического уравнения, которое также возникает в задачах столкновений и других физических моделях. Функция Грина здесь получается дифференцированием по волновому числу от соответствующей для Пуассона, что позволяет использовать аналогичные техники вычисления. Тестирование показывает схожие характеристики точности, с сохранением линейного масштабирования времени вычислений. Анализ ошибок указывает на то, что основными источниками неточности являются интерполяция и алиасинг, особенно при высоких частотах осцилляций, но эти проблемы минимизируются при правильном выборе плотности сетки и числа коэффициентов преобразования. Алиасинг возникает из-за дискретизации непрерывного преобразования Ханкеля, и его можно контролировать, увеличивая количество коэффициентов разложения до $2N$ или более, где N — число узлов. В бигармоническом случае дифференцирование по k вводит дополнительные множители, но рекурсивные соотношения адаптируются для сохранения стабильности.

В целом, представленный метод представляет собой значительный шаг вперед в численном решении задач в цилиндрических координатах. Его устойчивость к большим порядкам и волновым числам делает его пригодным для сложных инженерных приложений, где традиционные методы терпят неудачу. Анализ текста подчеркивает важность интеграции различных математических инструментов, таких как преобразования Ханкеля и рекурсии для специальных функций, для достижения высокой эффективности. Однако метод требует осторожного выбора параметров, чтобы избежать алиасинга, и может быть оптимизирован для параллельных вычислений в будущем. Это открывает возможности для дальнейших исследований в области численных методов для специальных функций и их приложений в физике и инженерии. Метод не только решает практические задачи, но и иллюстрирует, как теоретические свойства функций Бесселя могут быть использованы для создания надежных алгоритмов, устойчивых к вычислительным ограничениям. В заключение, данная разработка способствует повышению точности моделирования в областях, где цилиндрическая симметрия играет ключевую роль, и может служить основой для более сложных многомерных задач. Например, расширение на трехмерные задачи с аксиальной симметрией или интеграция с методами конечных элементов может привести к новым гибридным подходам, улучшающим общую эффективность вычислений.

Библиографический список

1. Pataki, A. & Greengard, L. (2011) Fast elliptic solvers in cylindrical coordinates and the Coulomb collision operator. *J. Comput. Phys.*, 230, 7840–7852.

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. Li, S., Buoni, M. J. & Li, H. (2009) A fast potential and self-gravity solver for nonaxisymmetric disks. Astrophys. J., 181 (Suppl.), 244–254.
5. 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.)
6. 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.)
7. 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.)
8. 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.
9. Gray, A. and Mathews, G. B. A Treatise on Bessel Functions and Their Applications to Physics, 2nd ed. New York: Dover, 1966.
10. McLachlan, N. W. Bessel Functions for Engineers, 2nd ed. with corrections. Oxford, England: Clarendon Press, 1961.
11. Никифоров А. Ф., Уваров В. Б. Специальные функции математической физики. М.: Наука, 1978. 320 с.
12. Robert E. Collin, "Field Theory of Guided Waves" in Wiley-IEEE Press, p. 864, 1991, doi: 10.1109/LWC.2019.2962796.

© Галеев З.З., Дерябин Н.В., Аккучукова А.И., 2025

УДК 621.37

Н.А. ЗАБРОДИН

nikzabr23@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. А.З. ТЛЯВЛИН

Уфимский университет науки и технологий

БЕЗЭХОВАЯ КАМЕРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в статье говорится о изготовленной безэховой камере для оценки экранирующих свойств материалов. Описаны принцип работы, конструкция камеры и методика измерений. Приведены результаты экспериментов с экранами из различных материалов. Выявлена зависимость эффективности экранирования от экранирующих свойств материалов.

Ключевые слова: безэховая камера; электромагнитное экранирование; затухание сигнала; скин-слой; частота 2.4 ГГц; экранирующие материалы; эффективность экранирования.

В последнее время большое внимание уделяется электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств. Возрастающая плотность электронных устройств и использование беспроводных технологий приводят к росту уровня электромагнитных помех. Для минимизации их влияния применяются различные методы защиты, в том числе экранирующие материалы. Целью работы является проектирование и изготовление безэховой камеры, позволяющей исследовать и оценить влияние толщины и материала экрана на степень ослабления сигнала в частотном диапазоне 2.4 ГГц.

Электромагнитные материалы защищают от связанных переменных электрического и магнитного полей особенно эффективно на высоких частотах.

Принцип работы заключается в отражении волн на границе сред и поглощении энергии в толще материала (Рис. 1). То есть, если мы представим, что волна с некоторой частотой летит к экрану, то она сначала отразится от поверхности экрана, а потом вдобавок еще и поглотиться в толще экрана, и в итоге через экран пройдет малая часть энергии.



Рис. 1. Принцип работы экранирования

Эффективность экранирования оценивается затуханием сигнала после прохождения через экран. Также есть такой параметр как глубина скин-слоя, по которой определяется минимальная толщина экрана. Чтобы волна полностью поглотилась, толщина экрана должна быть больше толщины скин слоя в 3 раза. Глубина скин-слоя (δ) – критический параметр для электромагнитного экранирования. Это расстояние от поверхности проводника, на котором амплитуда электромагнитной волны уменьшается в e раз ($\approx 37\%$). Представьте, что материал – это «губка» для волн. Глубина скин-слоя показывает, на какую глубину волна проникает, прежде чем ослабнуть. Чем выше частота, тем тоньше должен быть экран.

Изучив множество научных статей, я пришел к выводу что безэховая камера должна включать 3 ключевых функциональных блока: источник сигнала, электромагнитный экран, приёмник. Сигнал последовательно проходит через эти блоки, позволяя точно измерить затухание в экране. На рисунке 2 показана безэховая камера, собранная с помощью доступных материалов.



Рис. 2. Реализация лабораторного стенда

Корпус безэховой камеры изготовлен из фанеры и яичных лотков. Для подавления внешних помех фанера экранирована алюминиевой фольгой. Для поглощения внутренних отражений яичные лотки покрыты токопроводящим лаком. Их ячеистая структура обеспечивает многократное отражение и рассеяние электромагнитных волн, что повышает эффективность камеры. В

центре камеры есть направляющие, куда можно вставлять электромагнитные экраны с разными параметрами.

Внутри камеры на диэлектрических подставках из картона расположены генератор сигнала на базе ESP8266 и плата NodeMCU с анализатором спектра. Они были запрограммированы для того, чтобы передавать и принимать Wi-Fi сигнал с частотой 2.4 ГГц. Также была написана программа для оценки уровня принимаемого сигнала, в том числе после прохождения через экран.

Для исследования работоспособности изготовленной безэховой камеры была рассчитана эффективность экранирования как разница между затуханием сигнала без камеры и с камерой в каждой точке вокруг корпуса. По полученным значениям можно сказать, что эффективность камеры зависит от положения приемника. Наилучшее экранирование до 31 дБ зафиксировано у правого торца. Наименьшее экранирование зафиксировано в углах камеры, что может быть связано с зазорами в стыках фанеры.

В качестве примера по теории была рассчитана эффективность однослойного экрана из алюминиевой фольги толщиной 9 мкм. В результате такой экран должен обеспечивать затухание в 68,3 дБ. При проведении эксперимента реальное затухание достигло лишь 46 дБ. Разрыв в 22 дБ обусловлен неидеальными условиями – краевыми эффектами и плохой герметизацией, микродефектами материала.

Для исследования экранирующих свойств различных материалов были проведены эксперименты в безэховой камере с экранами из ДВП, однослойной и двухслойной алюминиевой фольги с толщиной 9 мкм и 30 мкм, алюминиевого листа толщиной 2 мм. ДВП показал закономерно низкую эффективность -22 дБм – как типичный диэлектрик. Остальные результаты выявили критическую зависимость эффективности от качества монтажа. Для фольги 9 мкм двухслойная конструкция ухудшила экранирование с -46 дБм до -43 дБм. Для фольги 30 мкм многослойность улучшила показатели с -45 дБм до -52 дБм.

Физическая причина: фольга с толщиной 9 мкм при двойном слое образует воздушные резонансные полости. На частоте 2.4 ГГц зазоры больше 0.1 мм работают как щелевые антенны, усиливая прохождение сигнала. К тому же могли повлиять неровности и микротрещины в фольге. Оптимальный материал – двухслойная алюминиевая фольга с толщиной 30 мкм обеспечивает максимальное затухание -52 дБм. Её эффективность на 17 % выше однослойного аналога и превосходит массивный алюминиевый лист с толщиной 2 мм.

Таким образом, в ходе экспериментов было выявлено, что экранирующие свойства действительно зависят от толщины, типа материала и количества слоев. Также на эффективность экранирования могут влиять зазоры вокруг экрана и микротрещины в материале. Как итог, можно сказать, что конструкция обеспечивает базовую изоляцию от внешних помех, но требует улучшения герметичности стыков. Тем не менее, заданная цель была достигнута, так как с помощью изготовленной безэховой камеры действительно можно оценивать экранирующие свойства различных материалов и проводить исследования. В будущем можно исследовать другие материалы, например, токопроводящие

ткани, магнитные наполнители или модернизировать безэховую камеру для работы в диапазоне 5 ГГц.

Библиографический список

1. Лабораторная работа «Гигиеническая оценка СВЧ-излучений на рабочем месте и определение эффективности защитных экранов», https://www.bsuir.by/m/12_0_1_71208.pdf
2. А. В. Кох, С. С. Шевченко. Лабораторный стенд по исследованию электромагнитного экранирования. – Вестник КГЭУ, 2017, № 4 (36).– с.134–140, <https://cyberleninka.ru/article/n/laboratornyy-stend-po-issledovaniyu-elektromagnitnogo-ekranirovaniya>
3. Гутник С. А., В. С. Гутник. Исследование эффективности экранирования электромагнитных излучений и шума, https://lib.sevsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/8409/%D1%80_180042.pdf?sequence=1&isAllowed=y
4. Электрические прямоугольные соединители. Многослойные металлизированные экраны защиты от ЭМП и способы их получения, https://tech-e.ru/2015_01_62.php?link=1
5. Материалы для экранирования, https://bstudy.net/670938/informatika/materialy_ekranirovaniya
6. Гроднев И.И. Электромагнитное экранирование в широком диапазоне частот // С. 66-76, <https://thelib.net/1615312-jelektromagnitnoe-jekranirovanie-v-shirokom-diapazone-chastot.html?ysclid=m7k9u8ev5j460530778>

© Забродин Н.А., 2025

Р.А. КУДРЯШОВА

kudryashovareginochka@yandex.ru

Науч. руковод. – б. ст. ассистент каф. БМИ, К.Р. Уразбахтина

Уфимский университет науки и технологий

ЧАТ-БОТ КАК ИНСТРУМЕНТ ЦИФРОВОЙ КОММУНИКАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ

Аннотация: в статье рассматривается понятие чат-бота как программного агента, способного осуществлять взаимодействие с пользователем посредством текстового или голосового интерфейса. Раскрываются основные виды чат-ботов, их функциональные особенности и роль в медицине. Особое внимание уделяется преимуществам использования чат-ботов в бизнесе, образовании, здравоохранении и государственных структурах. Анализируются проблемы и ограничения, связанные с внедрением и эксплуатацией чат-ботов, включая вопросы понимания естественного языка, конфиденциальности данных и уровня «человечности» общения. Также рассматриваются перспективы развития чат-ботов в контексте эволюции технологий искусственного интеллекта и цифровой трансформации общества.

Ключевые слова: чат-бот, искусственный интеллект, цифровые технологии, автоматизация, коммуникация, цифровая трансформация.

Введение

Современные технологии информационного общества стремительно развиваются, и одним из наиболее заметных проявлений цифровой трансформации является использование чат-ботов. Чат-боты представляют собой программные системы, способные имитировать диалог с человеком с целью предоставления информации, оказания помощи, автоматизации обслуживания клиентов и выполнения ряда других задач. В условиях роста объема цифровых коммуникаций, а также необходимости повышения эффективности взаимодействия между людьми и организациями, чат-боты становятся неотъемлемой частью современных сервисов.

Основная часть

Термин «чат-бот» обозначает программный агент, способный поддерживать текстовое или голосовое взаимодействие с пользователем [2]. Основная функция чат-бота заключается в обработке входящих сообщений, понимании их смысла и предоставлении соответствующих ответов. Первые чат-боты появились ещё в середине XX века – одним из первых примеров считается

программа ELIZA, созданная в 1966 году Джозефом Вейценбаумом в Массачусетском технологическом институте. Несмотря на простоту алгоритма, ELIZA стала основой для развития последующих систем искусственного интеллекта, имитирующих человеческое общение [1].

Современные чат-боты функционируют на основе технологий машинного обучения, анализа естественного языка (Natural Language Processing, NLP) и нейронных сетей. Это позволяет им понимать контекст диалога, корректно интерпретировать пользовательские запросы и выдавать релевантные ответы. Такие системы могут интегрироваться с различными платформами – от сайтов и мессенджеров до голосовых помощников и корпоративных интерфейсов.

Чат-боты можно классифицировать по нескольким признакам. Наиболее распространённое деление – по уровню сложности и сфере применения.

По уровню сложности различают:

1. Скриптовые (или «правильные») чат-боты – функционируют на основе заранее прописанных сценариев. Они отвечают на заранее predetermined вопросы и подходят для выполнения простых задач, например, информирования пользователей или обработки стандартных запросов.

2. Интеллектуальные чат-боты – основаны на алгоритмах искусственного интеллекта, способны учиться на взаимодействии с пользователями, анализировать контекст и адаптировать ответы под конкретную ситуацию.

По сфере применения чат-боты делятся на:

- сервисные (для обслуживания клиентов и поддержки пользователей);
- коммерческие (для продаж, бронирования, продвижения товаров);
- образовательные (для обучения и тренингов);
- развлекательные (для игр, викторин, общения);
- корпоративные (для внутренних коммуникаций и автоматизации задач в организациях).

Чат-боты нашли широкое применение во множестве сфер человеческой деятельности. В последние годы наблюдается активное внедрение технологий искусственного интеллекта в сферу здравоохранения, и особое место среди них занимают чат-боты. Медицинские чат-боты представляют собой интеллектуальные системы, предназначенные для взаимодействия с пациентами, медицинским персоналом и учреждениями здравоохранения в автоматическом режиме. Их основная цель – повышение доступности медицинских услуг, оптимизация процессов коммуникации и снижение нагрузки на специалистов.

Одной из ключевых функций медицинских чат-ботов является информационная поддержка пациентов. Такие системы способны предоставлять справочную информацию о симптомах заболеваний, правилах приёма лекарственных средств, профилактических мерах и расписании приёма врачей. Например, чат-бот может помочь пользователю определить необходимость обращения к врачу, предложив предварительную оценку состояния здоровья на основе введённых симптомов [7].

Кроме того, чат-боты активно применяются для записи на приём, напоминаний о визитах и приёме медикаментов. Это позволяет повысить

дисциплину пациентов и снизить количество пропущенных консультаций, что особенно важно при лечении хронических заболеваний [5].

Важное направление применения чат-ботов – поддержка врачей и медицинского персонала. Интеллектуальные системы могут оперативно предоставлять информацию о лекарствах, дозировках, протоколах лечения и клинических рекомендациях. Некоторые решения интегрированы с электронными медицинскими картами (ЭМК), что позволяет автоматизировать процесс сбора и анализа данных о пациенте.

Отдельного внимания заслуживает использование чат-ботов в сфере психологической помощи и телемедицины. Программы этого типа могут проводить первичные опросы, предоставлять советы по управлению стрессом, тревогой и эмоциональным состоянием. Хотя они не заменяют профессиональную психотерапию, такие чат-боты играют важную роль в ранней диагностике эмоциональных расстройств и профилактике депрессии.

С точки зрения организации системы здравоохранения, внедрение чат-ботов способствует оптимизации ресурсов. Автоматизация обработки типовых запросов позволяет сократить административные издержки, уменьшить нагрузку на колл-центры и повысить общую эффективность медицинских учреждений.

Однако, несмотря на очевидные преимущества, использование чат-ботов в медицине сопровождается рядом этических и юридических проблем. К ним относятся вопросы конфиденциальности персональных данных, точности предоставляемой информации и ответственность за возможные ошибки при взаимодействии с пациентом. Решение этих вопросов требует разработки нормативно-правовой базы и внедрения систем контроля качества.

Основные преимущества внедрения чат-ботов включают:

- повышение оперативности обслуживания пользователей;
- снижение затрат на персонал и обслуживание клиентов;
- круглосуточную доступность сервиса;
- повышение уровня удовлетворенности пользователей за счёт быстрого ответа на запросы;
- возможность персонализации взаимодействия с клиентом;
- сбор и анализ данных о поведении пользователей.

Кроме того, чат-боты способствуют оптимизации внутренних бизнес-процессов, снижая нагрузку на сотрудников и позволяя сосредоточиться на более сложных задачах, требующих человеческого участия [10].

Несмотря на многочисленные преимущества, использование чат-ботов сопряжено с рядом проблем. К ним относятся:

- ограниченность понимания естественного языка;
- сложность обработки неоднозначных запросов;
- недостаточная эмоциональная вовлеченность и «человечность» общения;
- вопросы конфиденциальности и защиты данных пользователей.

Решение этих проблем связано с развитием технологий искусственного интеллекта, улучшением алгоритмов обработки языка и внедрением этических стандартов в разработку цифровых помощников.

Будущее чат-ботов тесно связано с эволюцией искусственного интеллекта и цифровых коммуникаций. В ближайшие годы можно ожидать появления более «умных» систем, способных к эмпатии, глубокому контекстному пониманию и адаптивному поведению. Внедрение чат-ботов с мультимодальными возможностями (распознавание речи, изображений, эмоций) расширит их применение в медицине, образовании, социальной сфере и бизнесе.

Кроме того, ожидается интеграция чат-ботов с технологиями дополненной и виртуальной реальности, что позволит создать новые формы взаимодействия между человеком и машиной. Это откроет возможности для создания персонализированных цифровых ассистентов, которые смогут эффективно поддерживать пользователя в профессиональной и повседневной деятельности [9].

Заключение

В условиях стремительного развития цифровых технологий чат-боты становятся неотъемлемой частью современного общества и важным инструментом коммуникации между человеком и информационной системой. Они демонстрируют высокий потенциал в сфере автоматизации процессов, оптимизации обслуживания и повышения эффективности взаимодействия пользователей с различными организациями и сервисами.

Чат-боты значительно расширяют возможности бизнеса, образования, медицины и государственного управления. Благодаря применению технологий искусственного интеллекта и обработки естественного языка, они способны выполнять сложные задачи, анализировать контекст общения и адаптироваться к индивидуальным особенностям пользователей. Это делает их универсальными помощниками, способными обеспечить оперативную и персонализированную поддержку.

В то же время развитие чат-ботов сопровождается рядом вызовов, связанных с обеспечением конфиденциальности данных, повышением качества понимания естественного языка и созданием более «человечного» стиля общения. Решение этих проблем требует комплексного подхода, включающего как технологические инновации, так и формирование нормативно-этических стандартов.

В перспективе можно ожидать дальнейшей интеграции чат-ботов в социальные и экономические процессы, что приведёт к формированию новой модели цифрового взаимодействия человека и машины. Таким образом, чат-боты уже сегодня являются не просто инструментом автоматизации, но и важным элементом интеллектуальной инфраструктуры, формирующим основу для будущего цифрового общества.

Библиографический список

1. Вейценбаум, Дж. Компьютерная программа для изучения естественного языка: ELIZA // *Communications of the ACM*. – 1966. – № 9(1). – С. 36–45.
2. Панфилова, Е. А. Чат-боты в цифровой экономике: теоретические основы и практическое применение // *Экономика и управление: проблемы, решения*. – 2021. – Т. 3, № 12. – С. 102–108.
3. Литвинова, Т. А. Искусственный интеллект и его применение в сервисных системах // *Информационные технологии*. – 2020. – № 6. – С. 15–22.
4. Russell, S., Norvig, P. *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. – 4th ed. – Pearson Education, 2021. – 1152 p.
5. Кудрявцева, И. В. Использование чат-ботов в образовании и бизнесе // *Вестник современных технологий*. – 2022. – № 4. – С. 45–52.
6. Shawar, B. A., Atwell, E. An Arabic chatbot giving answers from the Qur'an // *Lecture Notes in Computer Science*. – 2003. – Vol. 2721. – P. 711–719.
7. Орлова, Н. А. Перспективы развития интеллектуальных агентов в цифровой среде // *Информационное общество*. – 2023. – № 1. – С. 58–65.
8. Jain, M., Kumar, P., & Singh, S. Chatbots: History, Technology, and Applications // *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. – 2020. – Vol. 11(7). – P. 472–480.
9. Кузнецов, П. В. Технологии обработки естественного языка в чат-ботах // *Сборник трудов конференции «Инновационные информационные системы»*. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2021. – С. 132–140.
10. Баранов, А. И. Цифровая трансформация: роль искусственного интеллекта и чат-ботов в коммуникациях // *Цифровая экономика и общество*. – 2024. – № 2. – С. 22–30.

© Кудряшова Р.А., 2025

УДК 004.852

А.Е. ЛИСИН

sashalisin25@gmail.com

Г.А. МЕЛКОНЯН

grigor.melqonyan0212@mail.ru

А.Э. НУРУТДИНОВ

arturnurutdinov618@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент И.К. МЕШКОВ

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА OSA103F ПРИ ИЗУЧЕНИИ СПЕКТРА СИГНАЛОВ

Аннотация: статья посвящена изучению возможности применения многофункционального измерительного прибора OSA103F в качестве анализатора спектра. Была представлена схема подключения и рассмотрен анализ спектров типовых сигналов.

Ключевые слова: Спектр, анализатор спектра, OSA103F, OSA-6G, измерительный прибор, обработка сигналов.

В настоящее время анализ спектра занимает важное место в изучении сигналов различной природы. Сигнал можно представить, как в временной, так и в частотной областях, где его характеристики становятся более наглядными. Спектр показывает, какие частоты содержатся в сигнале, и позволяет определить его основные параметры, уровень шумов и искажений. Поэтому спектральный анализ повсеместно применяется при обучении основам обработки сигналов, разработке и диагностике электронных систем.

В учебных лабораториях анализ спектра сигналов занимает особое значение. Он помогает студентам понять, как передаются, принимаются и обрабатываются сигналы в реальных каналах связи, оценить влияние помех, искажений и фильтрации на качество передачи информации. Спектр сигнала позволяет наглядно изучить принципы работы модуляции и демодуляции, дает возможность исследовать полосу пропускания различных каналов и оценить эффективность использования частотного диапазона. Освоение данных методов помогает сформировать у будущих специалистов необходимые навыки работы с измерительной аппаратурой, дает понимание физических процессов, лежащих в основе передачи данных.

Для решения этих задач в учебном процессе можно использовать комбинированный измерительный прибор **OSA103F**, совмещающий в себе возможности многоканального осциллографа; многофункционального генератора; частотомера; анализатора спектра; измерителя амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), фазово-частотная характеристика (ФЧХ);

векторного антенного анализатора; измерителя LC; рефлектометра; SDR-приемопередатчика (Software-defined radio) [1].

Применение OSA103F в учебных лабораториях имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием отдельных измерительных приборов:

1. Многофункциональность.
2. Компактность (габаритные размеры – 95 x 53 x 12 мм (без учета модуля OSA-6G). Масса – около 60 г) [1].
3. Экономическая эффективность для образовательного учреждения.

Технические характеристики анализатора спектра:

Анализ спектра реализован на основе расчёта быстрого преобразования Фурье (БПФ) и позволяет наблюдать и измерять сигналы в полосе до 350 МГц (полоса пропускания осциллографа). Для увеличения диапазона измерений необходимо использовать модули расширения OSA-6G (37 МГц...6,2 ГГц) и OSA-4G (48 МГц...4,4 ГГц). В данной работе используется OSA-6G. Поддерживает 9 оконных функций, настраиваемый размер окна, а также есть возможность усреднения и масштабирования.

В данной работе будут рассмотрены сигналы, принятые на штырьевую антенну, длиной 12 см, при этом OSA103F позволяет исследовать сигналы от различных источников, подключенных как к аналоговым, так и к цифровым входам. На рис. 1 представлен внешний вид прибора и схема подключения.

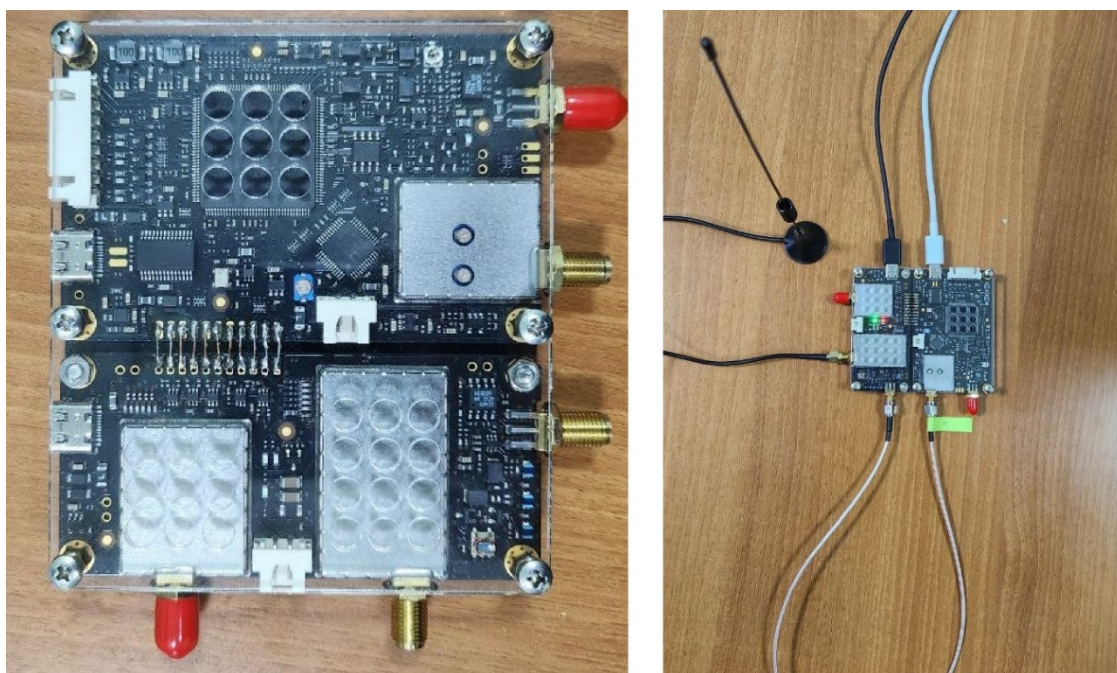


Рис. 1. OSA103F совмещенная с модулем OSA-6G

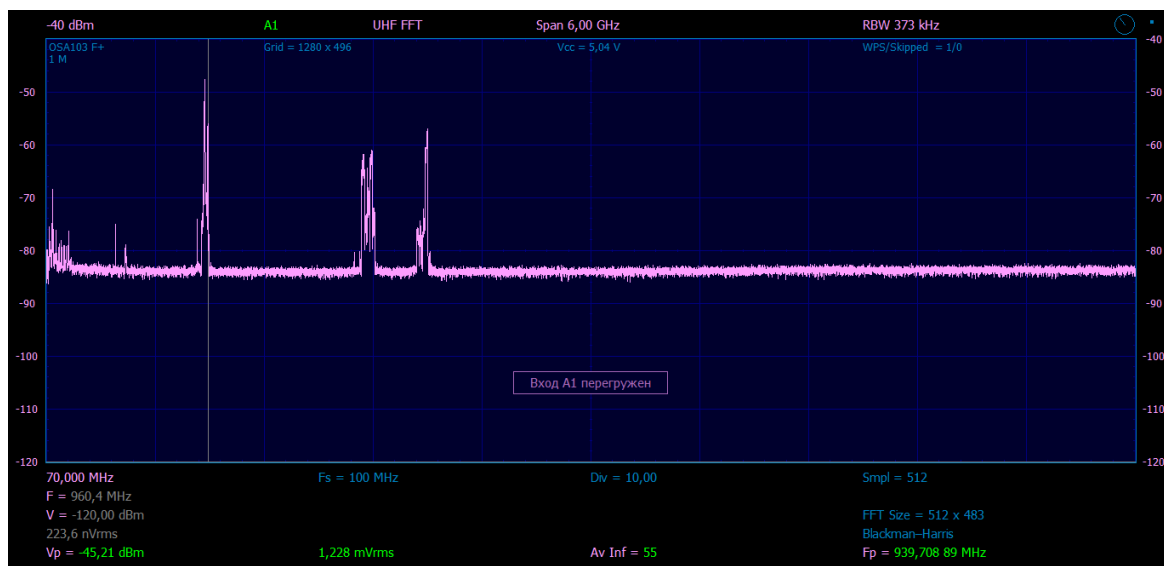


Рис. 2. Пример измеренного спектра

Как видно из рис. 2 возможности OSA103F с учетом модуля OSA-6G позволяют получить изображение спектра в достаточно широкой полосе частот (до 6 ГГц).

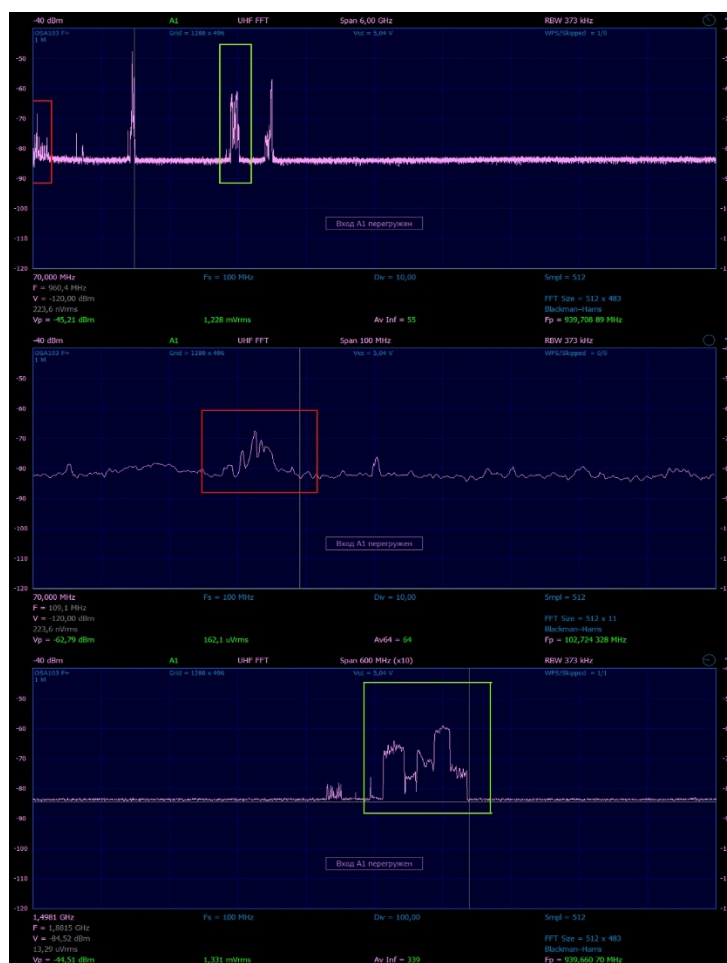


Рис. 3. Исследование спектра сигнала FM-радио вещания и сигнала стандарта GSM Band 3

На рис. 3 красной рамкой обозначен спектр сигналов FM-радио, сосредоточенных в диапазоне от 87,5 МГц до 108 МГц. В диапазоне FM-радио наблюдается характерная форма спектра для аналоговых сигналов, подвергнутых частотной модуляции (ЧМ).

Зеленой рамкой обозначен частотный диапазон Band 3 (B3), используемый для сетей мобильной связи 4G/LTE, расположенный в окрестности 1,8 ГГц. Полученный спектр является характерным для цифровых широкополосных систем связи LTE, использующих технологию частотного разделения сигналов (FDD – Frequency-division duplexing), также отчетливо видны участки спектра нисходящего и восходящего канала. Данные диапазоны разделены между собой защитным интервалом.

OSA103F позволяет получать спектр и детально его анализировать посредством гибкой настройки параметров анализатора спектра. Предоставляет возможность изучать спектрограммы как аналоговых, так и цифровых сигналов, а также выполнять их количественную оценку по ширине полосы, уровню мощности и структуре спектра.

Таким образом, применение OSA103F в учебной и исследовательской практике является эффективным инструментом для освоения методов спектрального анализа и формирования навыков работы с измерительными приборами.

Библиографический список

1. OSA103 Measuring DeviceSkip to content // OSA103F Комбинированный измерительный прибор USB-приставка к компьютеру URL: <https://www.osa103.ru/ru/main-page-ru/> (дата обращения: 08.11.2025).

© Лисин А.Е., Мелконян Г.А., Нурутдинов А.Э., 2025

УДК 004.852

А.Е. ЛИСИН

sashalisin25@gmail.com

Г.А. МЕЛКОНЯН

grigor.melqonyan0212@mail.ru

А.Э. НУРУТДИНОВ

arturnurutdinov618@gmail.com

Науч. руковод. — канд. техн. наук, доцент И.К. МЕШКОВ

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕСОВЫХ ОКОН НА СПЕКТР СИГНАЛА ПРИ ПОМОЩИ КОМБИНИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА OSA103F

Аннотация: статья посвящена исследованию влияния весовых окон на результаты спектрального анализа сигнала при помощи комбинированного измерительного прибора OSA103F. Была рассмотрена проблема растекания спектра, метод ее решения, описаны плоское окно, окна Хэмминга, окно Блэкмана-Харриса.

Ключевые слова: Весовые окна, спектральный анализ, спектр, OSA103F, окно Хэмминга, окно Блэкмана-Харриса, плоское окно

Спектральный анализ – фундаментальный метод исследования сигналов, позволяющий понять на каких частотах и с какой мощностью передается каждый компонент сигнала, а также выявить наличие шума и искажений. Вследствие этого анализ спектра широко применяется при решении различных технических задач.

При построении спектрограммы возникают различные проблемы, одной из которых является эффект растекания спектра. Это явление возникает вследствие того, что дискретное преобразование Фурье (ДПФ), посредством которого реализуется спектральное преобразование, применяется к конечному набору отсчетов, то есть работает с ограниченной выборкой.

Применение ДПФ обусловлено тем, что большая часть физических сигналов изначально являются непрерывными функциями времени, однако большая часть всех современных систем регистрации и обработки функционируют в цифровой области, вследствие чего анализируемый сигнал проходит процесс дискретизации и квантования.

Эффект растекания спектра приводит к таким негативным последствиям, как уменьшение динамического диапазона анализа спектра, обусловленное сложностью определения слабых сигналов, маскируемых боковыми лепестками мощных гармоник и искажение амплитуды спектрального отсчета. [2]

Одним из способов минимизации данного эффекта является применение различных весовых окон, которые позволяют улучшить различные характеристики спектра. Выбор конкретного весового окна зависит от поставленных задач и требований к точности, разрешению и уровню подавления побочных лепестков.

В данной работе для исследования влияния весовых окон применяется комбинированный измерительный прибор OSA103F, совмещенный с модулем OSA-6G, поддерживающий 9 типов окон: прямоугольное, Ханна, плоское, Хемминга, Блэкмана, Блэкмана-Харриса, Наталла, Блэкмана-Наталла, треугольное. [3]

Более подробно рассмотрим некоторые из них:

1. Прямоугольное окно

Как видно из рисунка 1 прямоугольное окно фактически представляет собой отсутствие окна. Все отчеты в выбранном отрезке берутся с $w(i) = 1$, где $w(i)$ – это весовая функция. По рисункам 2 и 3 видно, что данное окно обладает наилучшей разрешающей способностью. Оно обладает самым узким лепестком среди других окон, что позволяет точно определять частоты и близко расположенные частотные компоненты. К недостаткам можно отнести наихудшее подавление боковых лепестков.

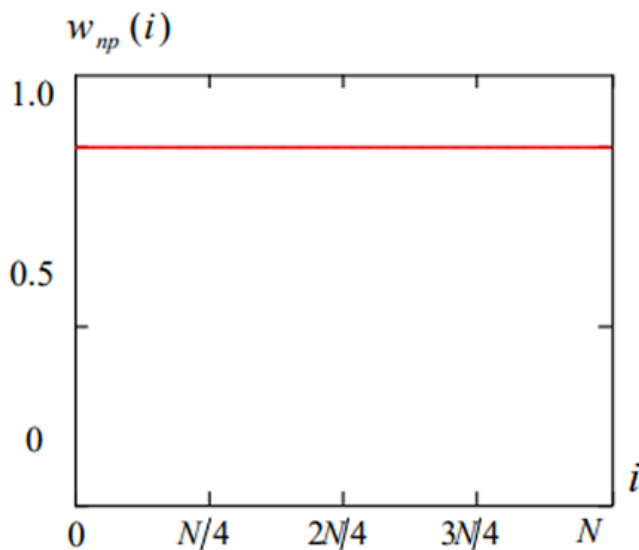


Рис. 1. Прямоугольное окно (функция во временной области) [1]

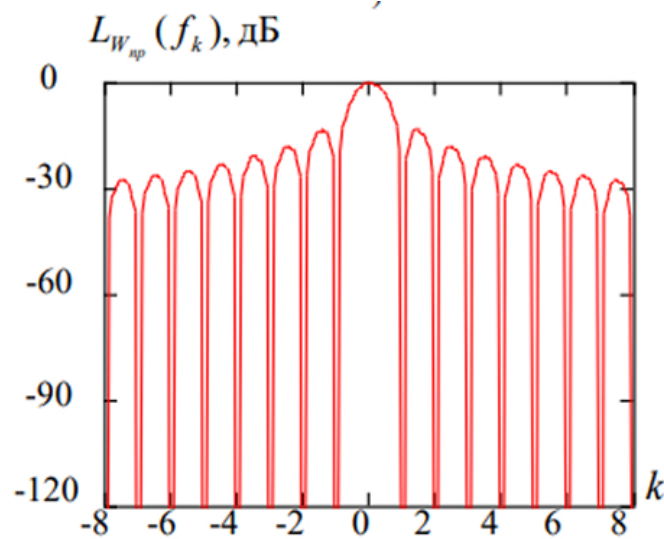


Рис. 2. Прямоугольное окно (ЛАЧХ) [1]



Рис. 3. Спектр сигнала GSM (900 МГц) при плоском окне

2. Окно Блэкмана-Харрис

$$w(i) = 0,359 - 0,488 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot i}{N}\right) + 0,141 \cdot \cos\left(\frac{4\pi \cdot i}{N}\right) - 0,012 \cdot \cos\left(\frac{6\pi \cdot i}{N}\right)$$

По рисункам 4-6 можно определить, что для данного весового окна характерно сильное подавление боковых лепестков, что достигается за счет такой математической функции, как сумма косинусов. Благодаря этому спектр GSM сигнала более чистый, что позволяет обнаруживать очень слабые сигналы рядом с мощными. Недостатком данного окна является низкая разрешающая способность, из-за чего главные лепесток сильно расширяется.

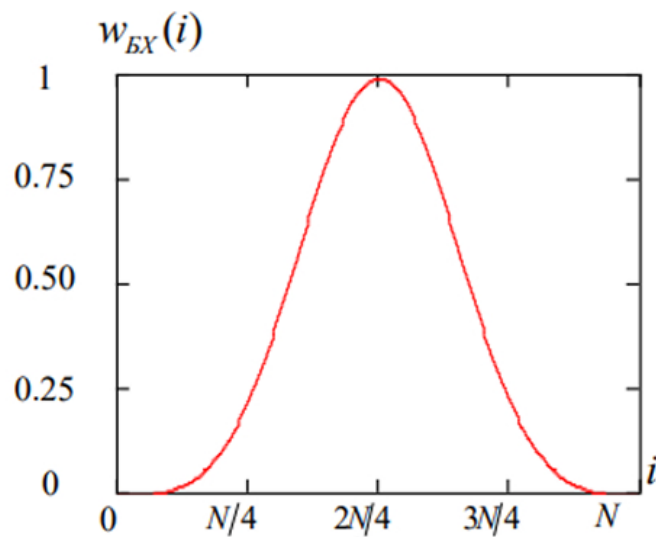


Рис. 4. Окно Блэкмана-Харриса (функция во временной области) [1]

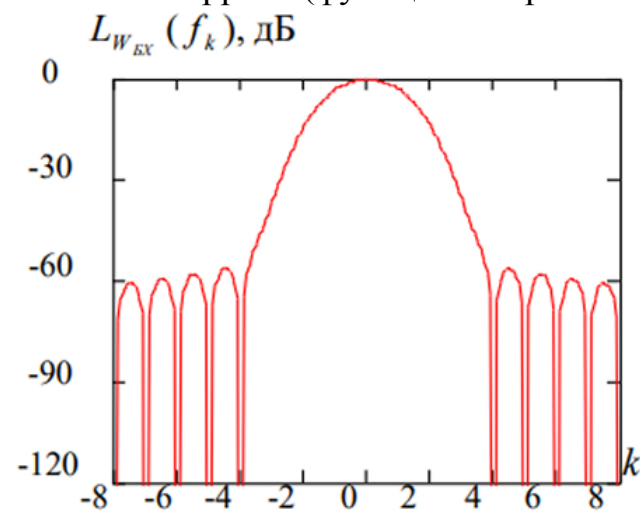


Рис. 5. Окно Блэкмана-Харриса (ЛАЧХ) [1]



Рис. 6. Спектр сигнала GSM (900 МГц) при окне Блэкмана-Харриса

3. Окно Хэмминга

$$w(i) = 0,56 - 0,46 \cdot \cos\left(\frac{2\pi \cdot i}{N}\right)$$

Окно Хэмминга является усовершенствованной версией окна Ханна, и представляет собой хороший компромисс между подавлением боковых лепестков и разрешающей способностью. Хорошо подходит для большинства задач по анализу спектра.

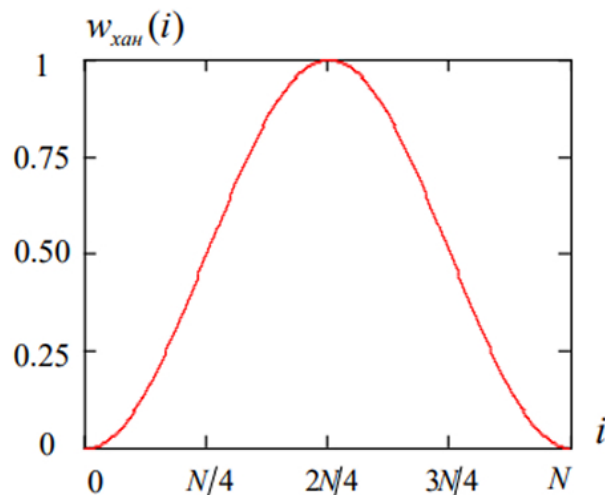


Рис. 7. Окно Хэмминга (функция во временной области) [1]

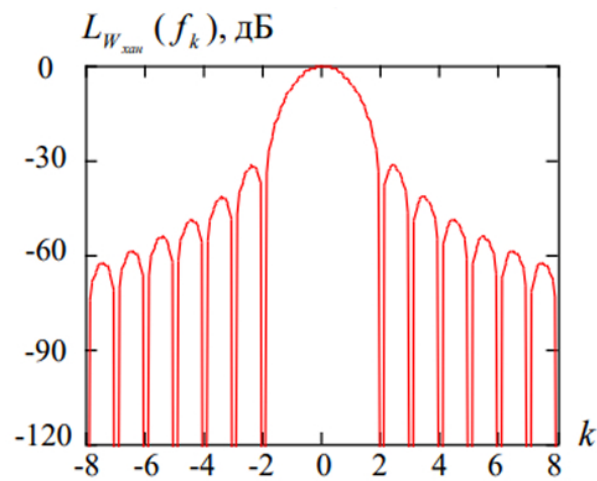


Рис. 8. Окно Хэмминга (ЛАЧХ) [1]

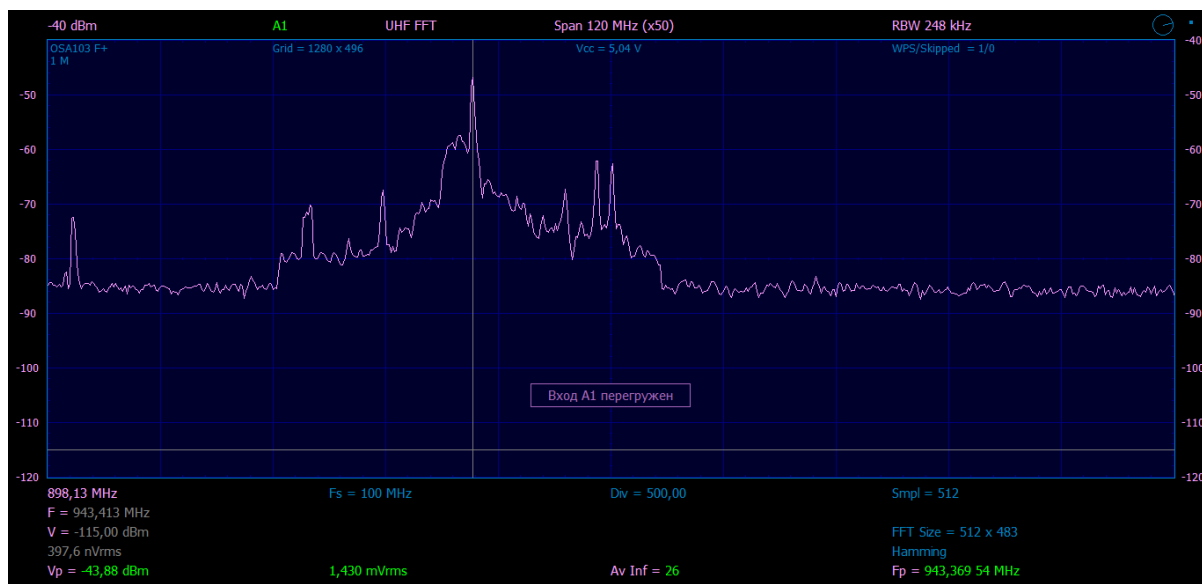


Рис. 9. Спектр сигнала GSM (900 МГц) при окне Хэмминга

В ходе исследования было проанализировано влияние весовых окон на спектр сигнала с использованием комбинированного измерительного прибора OSA103F. Рассмотренные окна – прямоугольное, Хэмминга, Блэкмана-Харриса – показали, что выбор оконной функции влияет на форму спектра, степень подавления боковых лепестков и разрешающую способность.

Библиографический список

1. Данилов Д.Е. Оконное преобразование Фурье при вычислении частотно-временных корреляционных функций. // Глобус: технические науки. – 2020. – № 4. – С. 35.
2. Функции оконного сглаживания. // DSPLID.org URL: <https://ru.dsplib.org/content/windows/windows.html> (дата обращения: 14.11.2025).
3. Комбинированный измерительный прибор USB-приставка к компьютеру // OSA103 URL: <https://www.osa103.ru/ru/main-page-ru/> (дата обращения: 14.11.2025).

© Лисин А.Е., Мелконян Г.А., Нурутдинов А.Э., 2025

УДК 004.932:621.391.8

Д.С. НЕФЁДОВА

ufavoblako@yandex.ru

Н.С. ОЛЬКОВА

olknata@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук В.В. ИВАНОВ

Уфимский университет науки и технологий

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОДИРОВАНИЯ ВИДЕОПОТОКОВ НА ТОЧНОСТЬ ДЕТЕКЦИИ КЛЮЧЕВЫХ ТОЧЕК В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация: исследуется влияние параметров кодирования видеопотоков (разрешение 480p/720p, кадровая частота 25/30 fps, битрейт 500–2000 кбит/с) на точность детекции 17 ключевых точек тела человека алгоритмом MediaPipe Pose в телекоммуникационных системах реального времени. Экспериментально установлены количественные зависимости метрик Object Keypoint Similarity (OKS), точности классификации и задержки обработки от параметров сжатия H.264 на датасете WLW Rehabilitation Posture. Результаты обосновывают рекомендации по адаптивному выбору конфигураций кодирования для систем удалённой медицины и фитнес-приложений с учётом компромисса качество–скорость.

Ключевые слова: детекция ключевых точек; кодирование видеопотоков; MediaPipe Pose; телекоммуникационные системы; OKS; битрейт; разрешение; качество обслуживания; системы реального времени; компрессия видео.

Введение

Телекоммуникационные системы реального времени – видеоконференции, удалённая медицина, фитнес-мониторинг – активно интегрируют алгоритмы детекции ключевых точек тела для бесконтактного анализа движений пользователя. Однако передача видеопотоков при ограниченной пропускной способности канала требует компрессии, что вызывает деградацию качества изображения и снижает точность алгоритмов детекции. Проблема компромисса между степенью сжатия и точностью распознавания критична для практического применения таких систем. Современные модели 2D-детекции позы (MediaPipe, RTMPose, YOLOv8-pose) достигают скоростей 30–100 FPS и значений метрики OKS на датасете COCO, достаточных для CPU/GPU-оборудования, однако чувствительны к артефактам блочного кодирования при сжатии кодеками H.264/H.265.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью количественной оценки влияния параметров кодирования на точность детекции для научно обоснованного выбора конфигураций в ресурсо-ограниченных приложениях. Недостаточно разработаны рекомендации по адаптивной

настройке параметров (разрешение, fps, битрейт) в зависимости от требований QoS/QoE. Комплексные исследования влияния трёх параметров кодирования на метрики точности детекции остаются редкими.

Научная новизна работы – комплексное экспериментальное исследование влияния параметров кодирования (разрешение 480p/720p, fps 25/30, битрейт 500–2000 кбит/с) на точность детекции 17 ключевых точек СОСО-17 моделью MediaPipe Pose. Проведена количественная оценка зависимостей OKS, Accuracy и задержки обработки от параметров сжатия H.264 на датасете WLU Rehabilitation Posture.

Цель работы – экспериментально установить количественные зависимости точности детекции от параметров кодирования и предоставить обоснованные рекомендации по выбору конфигураций для различных классов телекоммуникационных приложений реального времени.

Теоретические основы

Для оценки влияния кодирования используются метрики качества сжатия (PSNR), точности детекции (OKS) и производительности (inference latency). **PSNR** (Peak Signal-to-Noise Ratio) определяется через среднеквадратичную ошибку MSE между исходным и сжатым кадром:

$$\text{PSNR} = 10\log_{10} \frac{\text{MAX}^2}{\text{MSE}}$$

где MAX = 255 для 8-битных изображений. Типичные значения PSNR: >38 дБ – отличное качество, 35–38 дБ – хорошее, <30 дБ – плохое с артефактами.

OKS (Object Keypoint Similarity) измеряет сходство предсказанных и эталонных ключевых точек:^[1]

$$\text{OKS} = \frac{\sum_{i=1}^N \exp\left(-\frac{d_i^2}{2s^2k_i^2}\right) v_i}{\sum_{i=1}^N v_i}$$

где d_i – евклидово расстояние между точками, s – масштаб объекта (площадь бокса), k_i – константы типа точки (плечи 0,079, запястья 0,062), v_i – индикатор видимости. Значения OKS $\geq 0,8$ соответствуют хорошему совпадению поз.

Дополнительные метрики: Confidence (уверенность модели, [0;1], порог $\geq 0,5$), задержка t_{int} (<50 мс для реального времени), Accuracy классификации движений.

Параметры кодирования оказывают разнонаправленное влияние: увеличение разрешения/битрейта повышает OKS, но увеличивает задержку и требования к пропускной способности. Требуется адаптивный выбор параметров в зависимости от QoS/QoE приложения.

Методика эксперимента

Использовался датасет WLU Rehabilitation Posture (Kaggle) – 20 видео упражнений Arm Raise и Sit-to-Stand (по 10 каждого), разрешение 640×480, длительность ~5 с. Видео кодировались кодеком H.264 (FFmpeg):

Эксперимент 1 (битрейт): разрешение 640×480, битрейты 2000/1000/500 кбит/с.

Эксперимент 2 (разрешение/fps): 480p/720p при 25/30 fps.

Для детекции использовалась модель MediaPipe Pose (17 ключевых точек COCO-17), инференс на CPU. Процедура: покадровое извлечение координат, вычисление PSNR (относительно оригинала), OKS (относительно эталона 2000 кбит/с), среднего Confidence, задержки t_{int} . Для Arm Raise: бинарная классификация правильности по максимальному углу плечо–локоть–запястье (порог 160°), вычисление Accurasy.

Статистический анализ: агрегация метрик по 10 видео (среднее ± СКО), корреляционный анализ (Пирсон r , $p < 0,05$), построение trade-off диаграмм. Инструменты: Python 3.8, NumPy, OpenCV, MediaPipe, scikit-learn, Matplotlib.

Результаты экспериментов

Влияние битрейта (эксперимент 1, Arm Raise). Результаты в таблице 1 демонстрируют монотонное ухудшение OKS при снижении битрейта: с 0,852 (2000 кбит/с) до 0,763 (500 кбит/с) – снижение 10,4%. Корреляция битрейта и OKS: $r \approx -0,95$, $p < 0,05$. Accurasy деградирует слабее (8,5 п.п.), так как для бинарного решения достаточно грубых признаков по 3 точкам, тогда как OKS учитывает все 17. Задержка стабильна (~ 24 мс/кадр ≈ 41 FPS), так как не зависит от битрейта.

Таблица 1

Влияние битрейта на OKS, Accurasy и t_{int} (Arm Raise)

Битрейт (кбит/с)	OKS	Accurasy	t_{int} (мс)
2000	0,852	0,783	24,3
1000	0,812	0,475	24,1
500	0,763	0,698	23,9

Влияние разрешения и fps (эксперимент 2, Sit-to-Stand). Таблица 2 показывает рост OKS на 8,8% при увеличении разрешения с 480p (0,784) до 720p (0,853), но задержка возрастает на 14,4 мс (с 18,2 до 32,6 мс). Confidence увеличивается на 5,3 п.п. Повышение fps с 25 до 30 влияет незначительно (вариация OKS <2%). Корреляции: разрешение–OKS $r \approx 0,92$ ($p < 0,01$), fps–OKS $r \approx 0,15$ ($p > 0,05$). Конфигурация 480p@30fps оптимальна для реального времени (OKS=0,785, задержка 18,1 мс), 720p@25fps – для offline (OKS=0,852, задержка 32,7 мс).

Таблица 2

Влияние разрешения и fps на метрики (Sit-to-Stand)

Конфигурация	PSNR (дБ)	OKS	Confidence	t_{int} (мс)
480p@25fps	35,2±1,8	0,782±0,045	0,845±0,032	18,3±2,1
480p@30fps	35,1±1,7	0,785±0,043	0,848±0,031	18,1±2,0
720p@25fps	38,6±1,5	0,852±0,038	0,891±0,028	32,7±3,2
720p@30fps	38,5±1,6	0,854±0,037	0,893±0,027	32,4±3,1

Анализ результатов

Битрейт и разрешение – критические параметры, fps влияет слабо для квазистатичных поз. Сильные корреляции ($r \approx -0,95$ для битрейта, $r \approx 0,92$ для разрешения) подтверждают статистически значимое влияние на OKS. Результаты согласуются с литературными данными об артефактах кодирования и влиянии разрешения на CV-модели. Стабильность задержки при изменении битрейта подтверждает независимость вычислительной сложности от качества входа.

Практические рекомендации:

- Для реального времени ($t_{\text{int}} < 50$ мс): 480p@30fps, битрейт ≥ 1000 кбит/с (OKS>0,75, задержка ~18 мс).
- Для offline-анализа (высокая точность): 720p@25fps, битрейт ≥ 2000 кбит/с (OKS>0,85).
- Адаптивные системы: динамическая настройка по состоянию канала (>2000 кбит/с $\rightarrow$ 720p@30fps, 1000–2000 $\rightarrow$ 480p@30fps, <1000 $\rightarrow$ 480p с битрейтом 500).
- QoS-адаптация: повышение порога Confidence до 0,6–0,7 при снижении битрейта.

Ограничения: результаты получены для MediaPipe Pose и WLU dataset (требуется валидация на других моделях/датасетах), эксперименты на CPU (на GPU задержки ниже), только H.264 (H.265/VP9/AV1 могут дать другие зависимости), идеальные сетевые условия (без потерь пакетов), квазистатичные упражнения (для динамичных движений fps может влиять сильнее).

Заключение

Экспериментально установлено значимое влияние параметров кодирования на точность детекции ключевых точек. Ключевые результаты: понижение битрейта с 2000 до 500 кбит/с снижает OKS на 10,4% и Ассурасу на 8,5 п.п. при стабильной задержке (~24 мс); увеличение разрешения с 480p до 720p повышает OKS на 8,8%, но увеличивает задержку на 14,4 мс; повышение fps с 25 до 30 влияет незначительно (<2%). Результаты применимы для проектирования адаптивных систем видеоаналитики с динамической настройкой параметров по состоянию канала и требованиям QoS/QoE. Направления исследований: тестирование RTMPose/YOLOv8-pose, кодеков H.265/VP9/AV1, сценариев с

сетевыми потерями, разработка адаптивных алгоритмов для систем реального времени.

Библиографический список

1. Real-time human pose estimation and tracking on monocular videos: A systematic literature review [Текст] / Y. Chen, Z. Feng, D. Paes, D. Nilsson, R. Lovreglio // *Neurocomputing*. – 2025. – Т. 655. – С. 131309.
2. Comparing Human Pose Estimation through deep learning approaches: An overview [Текст] / G. Dibenedetto, S. Sotiropoulos, M. Polignano, G. Cavallo, P. Lops // *Computer Vision and Image Understanding*. – 2025. – Т. 252. – С. 104297.
3. Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study [Текст] / U. Sara, M. Akter, M.S. Uddin // *Journal of Computer and Communications*. – 2019. – Т. 07, № 03. – С. 8–18.
4. Enhanced Pose Estimation for Badminton Players via Improved YOLOv8-Pose with Efficient Local Attention [Текст] / Y. Wu, Z. Chen, H. Zhang, Y. Yang, W. Yi // *Sensors (Basel, Switzerland)*. – 2025. – Т. 25, № 14 – С. 4446.
5. On the Impact of Lossy Image and Video Compression on the Performance of Deep Convolutional Neural Network Architectures [Текст] / M. Poyser, A. Atapour-Abarghouei, T.P. Breckon // 2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)2021. – С. 2830–2837.
6. Motion adaptive pose estimation from compressed videos [Текст] / Z. Fan, J. Liu, Y. Wang // *Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision2021*. – С. 11719–11728.
7. Is there a relationship between peak- to- noise ratio and structural similarity index measure? [Text] / A. Horé, D. Ziou // *IET Image Processing*. – 2013. – Vol. 7, № 1. – P. 12–24.
8. Dvc: An end-to-end deep video compression framework [Текст] / G. Lu, W. Ouyang, D. Xu, X. Zhang, C. Cai, Z. Gao // *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition2019*. – С. 11006–11015.
9. Fast human pose estimation in compressed videos [Текст] / H. Liu, W. Liu, Z. Chi, Y. Wang, Y. Yu, J. Chen, J. Tang // *IEEE Transactions on Multimedia*. – 2022. – Т. 25. – С. 1390–1400.
10. Recommendation ITU-R BT.500-14: Methodologies for the subjective assessment of the quality of television images [Text] / ITU-R. – Geneva, Switzerland: International Telecommunication Union, 2019.
11. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [Текст] / Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, E.P. Simoncelli // *IEEE transactions on image processing*. – 2004. – Т. 13, № 4. – С. 600–612.

© Нефёдова Д.С., Олькова Н.С., 2025

УДК 62-79

А.А. Шарипов

sharipovaa@uust.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук В.В. ИВАНОВ

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МИКРОЧАСТИЦ В ПОМЕЩЕНИИ

Аннотация: в статье представлена разработка интеллектуальной системы мониторинга концентрации микрочастиц в помещении на основе малобюджетных компонентов IoT. Система интегрирует лазерный датчик пыли PMS7003 и микроконтроллер ESP32 с облачной инфраструктурой и алгоритмами машинного обучения для обеспечения непрерывного контроля качества воздуха. Аппаратная часть включает 3D-печатный корпус из PETG-пластика, обеспечивающий защиту датчика и оптимальную вентиляцию. На облачной платформе реализованы модели прогнозирования загрязнения воздуха (Random Forest, Gradient Boosting, XGBoost) с 30-минутным горизонтом прогноза. Система обеспечивает мониторинг частиц PM1, PM2,5 и PM10, автоматизированное оповещение пользователей при превышении нормативов и интеграцию с системами умного дома. Разработанное решение демонстрирует высокую надёжность в полевых условиях (менее 2% ложных срабатываний), доступную стоимость (2500–3500 рублей) и может быть применено в образовательных, медицинских и производственных учреждениях.

Ключевые слова. мониторинг качества воздуха, машинное обучение, системы умного дома, интернет вещей (IoT), прототипирование электроники

Введение. В условиях глобального повышения уровня индустриализации и урбанизации качество воздуха в помещениях приобретает критическое значение как для здоровья человека, так и для надёжности и производительности оборудования. Повышенный уровень микрочастиц (PM2,5, PM10, PM1) и запыленности в воздухе приводит к развитию хронических заболеваний дыхательной системы, включая астму, хроническую обструктивную болезнь лёгких (ХОБЛ), рак лёгких, а также к сердечно-сосудистым осложнениям. Параллельно запыленность критически влияет на надёжность техническое оборудования, снижая его производительность и ускоряя износ.

Решение **задачи** контроля микроклимата помещений особенно актуально для медицинских учреждений, образовательных организаций, производственных предприятий и жилых помещений, где требуется поддержание параметров воздуха в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами. Недостаток оперативного и достоверного мониторинга качества воздуха в реальном времени делает эту проблему одной из наиболее значимых для науки и практики в ближайшем будущем.

Существующие методы контроля качества воздуха характеризуются рядом недостатков: дорогостоящие эталонные станции доступны лишь в отдельных местах и не обеспечивают локальный мониторинг в помещениях; периодический ручной отбор проб требует значительных временных затрат; традиционные сенсоры часто дают высокие ошибки без предварительной калибровки. Кроме того, отсутствуют доступные системы, которые бы оперативно реагировали на превышения нормативов и предоставляли прогноз развития загрязнения.

Цель исследования – разработать аппаратно-программный комплекс на основе малобюджетных компонентов IoT (лазерный датчик пыли PMS7003 [2] и микроконтроллер ESP32 [2]), интегрированный с облачной инфраструктурой и алгоритмами машинного обучения, который обеспечивает: непрерывный мониторинг концентрации микрочастиц (PM1, PM2,5, PM10) в помещении; калибровку и коррекцию показаний датчика относительно санитарных норм; оперативное оповещение пользователей при превышении пороговых значений.

Микроконтроллер ESP32 выбран как основной узел обработки благодаря встроенному Wi-Fi модулю, поддержке MQTT и низкому энергопотреблению. Датчик PMS7003 подключён по UART-интерфейсу со скоростью 9600 бит/сек. Для стабилизации питания (5 В) использован сетевой адаптер с фильтром. Корпус прототипа напечатан методом 3D-печати из ABS-пластика с обеспечением вентиляции камеры датчика и защиты от влаги и крупных частиц. Прототип системы показан на рисунке 1.

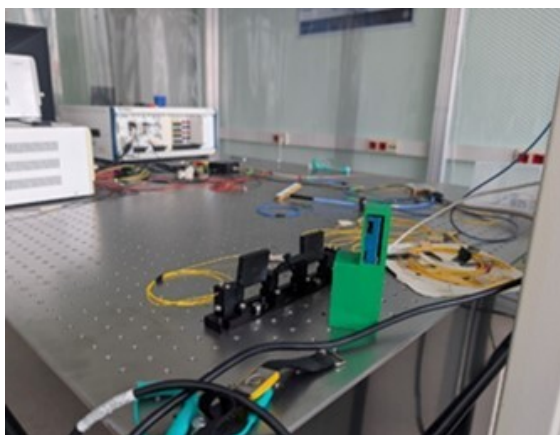


Рис. 1. Прототип датчика пыли, установленный в лаборатории

Далее данные с микроконтроллера поступают на облачную платформу, где с использованием алгоритмов машинного обучения производится точный анализ и прогнозирование уровня загрязнения воздуха, дальнейшее хранение данных и визуализации. В рамках системы предусмотрен интегрированный модуль оповещений, который уведомляет пользователей о превышении допустимых значений через мобильные приложения. Облачная инфраструктура обеспечивает централизованное хранение данных, их интеллектуальный анализ и удобную визуализацию в виде интерактивной аналитической панели (см. рис. 2).

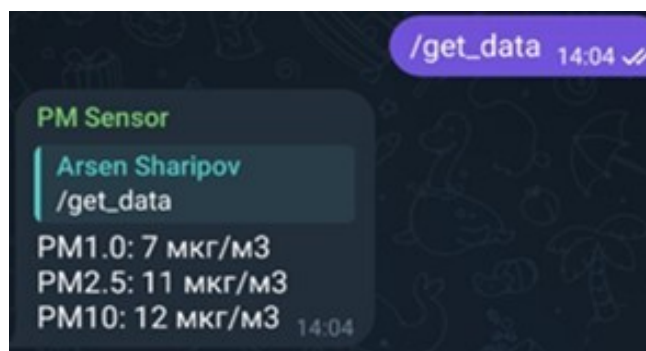


Рис. 2. Пример получения данных о концентрации пыли

Аппаратная интеграция и сборка устройства включают в себя ряд важных этапов. Для корректной работы датчика PMS7003 необходимо стабилизировать его питание, соблюдая технические требования, организовать соединение по последовательному интерфейсу для обмена данными и правильно расположить датчик в корпусе, обеспечивая хорошую вентиляцию и защиту от пыли и влаги, при этом избегая попадания крупных частиц. При проектировании корпуса учитывалась компактность устройства, что важно для минимальных габаритов и удобства установки. Корпус напечатан из прочного пластика, обеспечивающего долговременное и устойчивое использование, а также эстетичность и удобство монтажа, включая такие элементы как крепления и отверстия для подключения питания.

В разработке программного обеспечения особое внимание уделялось низкоуровневому взаимодействию с датчиком. Операционная система ESP32 обеспечивает конфигурацию датчика и периодическое получение данных по концентрации частиц размера PM1, PM2,5 и PM10, которые преобразуются в цифровой формат и проходят проверку на целостность.

На облачной платформе реализованы модели прогнозирования: Random Forest (RF) – случайный лес с 100 деревьями и глубиной до 15; Gradient Boosting Regressor (GBR) – градиентный бустинг с 100 итерациями и $\text{rate} = 0.1$; XGBoost – экстремальный градиентный бустинг с параметрами $\text{max\_depth} = 7$, $\text{eta} = 0.1$. Признаки модели включали: текущие концентрации PM1/PM2.5/PM10, температуру, влажность, давление, час суток и день недели. Данные разбивались на обучающую (70%), валидационную (15%) и тестовую (15%) выборки методом хронологической кросс-валидации. Окно прогноза – 30 минут вперёд.

Практическая значимость разработанной системы заключается в обеспечении непрерывного мониторинга качества воздуха, что способствует улучшению микроклимата и безопасности помещений. Автоматизация контроля позволяет своевременно предупреждать о превышениях, снижая количество простоев и аварий оборудования, что ведёт к сокращению затрат на обслуживание и профилактику. Кроме того, система легко интегрируется с существующими решениями умного дома и промышленными системами, расширяя возможности применения и повышая общую функциональность.

В результате проведённого исследования разработана и успешно апробирована интеллектуальная система мониторинга концентрации микрочастиц в помещении, которая:

1. Обеспечивает непрерывный контроль частиц PM1, PM2,5 и PM10.
2. Имеет доступную стоимость (2500–3500 рублей) и может быть тиражирована в образовательных, медицинских и производственных учреждениях.
3. Демонстрирует надёжность в полевых условиях: ложные срабатывания менее 2%, успешная интеграция с облачными платформами через MQTT.
4. Обеспечивает интеграцию с системами умного дома и промышленной автоматики, расширяя функциональность управления микроклиматом помещений.

Исследование выполнено в рамках работ по государственному заданию Минобрнауки России для УУНиТ (соглашение № 075-03-2024-123/1 от 15.02.2024 г.) в молодёжной научно-исследовательской лаборатории Евразийского НОЦ «Сенсорные системы на основе устройств интегральной фотоники»

Библиографический список

1. Digital universal particle concentration sensor [Электронный ресурс]. URL: https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf
2. ESP32-C6-DevKitC-1 – esp-dev-kits latest documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-dev-kits/en/latest/esp32c6/esp-dev-kits-en-master-esp32c6.pdf>
3. Towards a hygroscopic growth calibration for low-cost PM2.5 sensors / Milan Y. Patel, Pietro F. Vannucci, Jinsol Kim, W. Berelson, R. Cohen // Atmospheric Measurement Techniques. – 2024. – Vol. 17. – P. 1051–1060
4. Сидельникова Ольга Петровна, Багров Владимир Алексеевич, Антонов Федор Геннадьевич, Дериченко Александр Вячеславович, Лясин Роман Андреевич, Ади Васим Самир Юнис ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕДОРОГИХ ДАТЧИКОВ ЧАСТИЦ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПЫЛЕВЫМИ ЧАСТИЦАМИ PM2,5 // Экономика строительства и природопользования. 2023. №4 (89).

© Шарипов А.А., 2025

СЕКЦИЯ 3.4. ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

УДК 004.046

Л.Р. ЖИРНОВА

Zhirnova04@icloud.com

Науч. руковод. – старший преподаватель Е.Ю. ШВАРЦМАН

Уфимский университет науки и технологий

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ДИЭЛЕКТРИКОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ НА ГРЭС

Аннотация: в статье проведен анализ альтернативных диэлектрических жидкостей для силовых трансформаторов. Рассмотрены традиционное минеральное масло, синтетические сложные эфиры, силиконовые жидкости и их смеси. Выполнена оценка капитальных затрат и эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: альтернативные диэлектрики, минеральное масло, силиконовая жидкость СОФЭКСИЛ ТСЖ, синтетически сложный эфир Midel 7131.

В условиях активного развития «зеленой» энергетики и перехода на более экологичное и безопасное оборудование, наблюдается последовательный отказ от классических масляных оборудований. Например, на электростанциях идет активный переход от масляных выключателей на элегазовые.

Так и в этой работе, рассматривается переход на альтернативный диэлектрик, который обладает значительными преимуществами по сравнению с минеральным маслом.

Почему это важно? Силовые трансформаторы являются ключевыми элементами в энергосистеме, выполняющими функцию связи между генераторным и сетевым напряжением.

В масляных трансформаторах для надежной работы основным элементом изоляционной системы является жидкий диэлектрик, работающий в комбинации с твердыми изоляционными материалами (целлюлозной бумагой, электрокартоном).

В моей работе рассматриваются трансформаторы с принудительной циркуляцией масла и воздушным охлаждением (ДЦ).

Активная часть трансформатора (магнитопровод и обмотки) помещается в стальной бак, который служит одновременно и резервуаром для изоляционной жидкости (рис. 1, рис. 2).

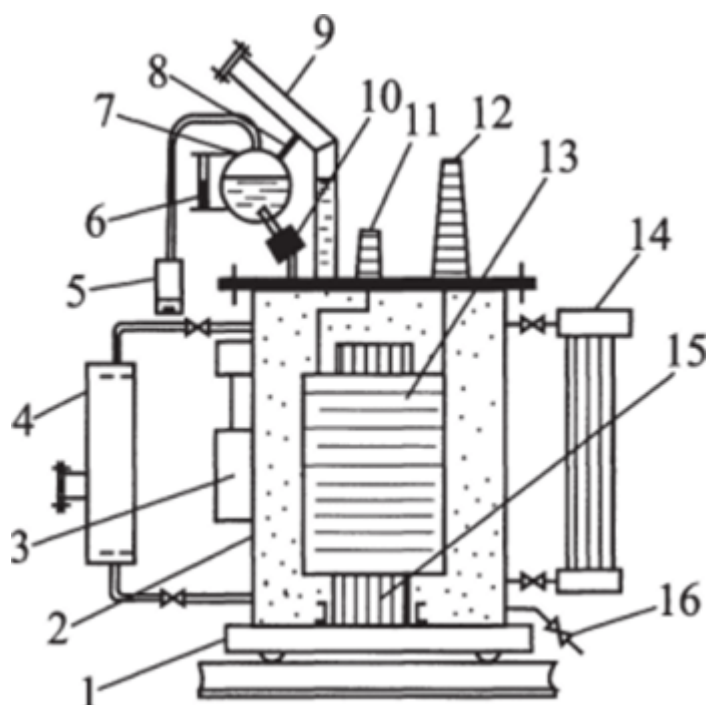


Рис. 1. Конструкция масляного трансформатора:

- 1 – тележка с катками; 2 – бак; 3 – устройство регулирования под нагрузкой (РПН);
 4 – термосифонный фильтр; 5 – воздухоосушитель; 6 – указатель уровня масла;
 7 – расширитель; 8 – соединительная трубка; 9 – выхлопная труба; 10 – газовое реле;
 11 – ввод НН; 12 – ввод ВН; 13 – обмотки высшего и низшего напряжений;
 14 – радиаторы системы охлаждения; 15 – магнитопровод; 16 – кран для слива масла

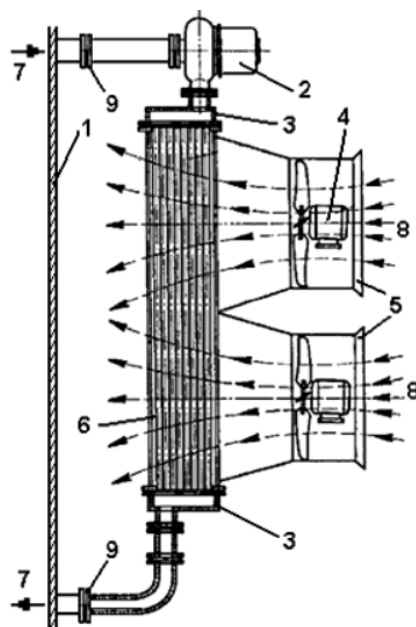


Рис. 2. Система охлаждения ДЦ:

- 2 – электронасос; 3 – камеры для масла; 4 – двигатели с вентиляторами;
 5 – диффузоры; 6 – калорифер; 7 – направление потока масла; 8 – направление потока воздуха; 9 – фланцы соединения с баком

Виды изоляционной жидкости для силовых трансформаторов:

Минеральное масло – ископаемое, получаемое из нефти, и исторически является основным диэлектриком для силовых трансформаторов.

В электрических трансформаторах масло служит диэлектриком и средством для отвода тепла.

Технология производства включает перегонку очищенной нефти при температурах 300-400°C с получением солярового дистиллята, эта субстанция является основой для получения трансформаторного масла, которая затем подвергается глубокой очистке. Плотность масла составляет $(0,82-0,89) \times 10^3$ кг/м³ в рабочем диапазоне температур 0-120°C.

Преимущества минерального масла:

- низкая стоимость и доступность;
- низкая вязкость, обеспечивающая эффективное охлаждение;
- отработанные годами методики диагностики и обслуживания.

Недостатки минерального масла:

- низкая температура вспышки (135°C), создающая пожарную опасность;
- плохая биоразлагаемость (25,2%);
- чувствительность к увлажнению с резким ухудшением изоляционных свойств;
- невозобновляемость ресурса;
- загрязнение окружающей среды при утечках.

Стоимость за 1 тонн – 84000 рубля.

В качестве перспективных альтернативных диэлектриков минеральному маслу рассматриваются синтетические сложные эфиры (Midel 7131), силиконовые жидкости (СОФЭКСИЛ-ТСЖ) и их смеси с минеральным маслом.

Синтетические сложные эфиры типа Midel 7131 представляют из себя перфторуглеродную жидкость и характеризуются самым высоким пределом растворимости воды – до 7000 ppm, что значительно повышает устойчивость к увлажнению. Благодаря низкой температуре застывания, достигающей –60 °C, такие эфиры сохраняют работоспособность в условиях сильных морозов.

Отличительной чертой синтетических сложных эфиров является их превосходная стойкость к окислению. Это позволяет исключить использование целого комплекса различных присадок, обеспечивая высокую химическую однородность состава. По огнестойкости сложноэфирные жидкости не уступают природным аналогам: температура вспышки и воспламенения у них находится на высоком уровне.

Примером их высокой огнестойкости служит опыт с эфиром Midel 7131: при воздействии на его поверхность ацетиленокислородной горелкой с температурой более 2000 °C в течение 70 минут температура жидкости достигает 260 °C без воспламенения. В то же время при таких условиях минеральное масло воспламеняется уже через 4 минуты.

Основным недостатком синтетических сложных эфиров является высокая вязкость, однако его можно эффективно снизить путем смешивания с минеральным маслом. Такой подход позволяет улучшить характеристики изоляционной системы трансформатора без существенных финансовых затрат, сочетая преимущества обоих типов жидкостей. Также Midel 7131 является одним из дорогих изоляционных жидкостей.

Практический пример применения в РФ: На высоковольтной подстанции 110/20/10 кВ «Берсеновская» (АО «ОЭК») синтетическая жидкость MIDEЛ была успешно применена в качестве изолирующей и охлаждающей среды в двух силовых трансформаторах.

Стоимость за 1 тонн – 93000 рубля.

Силиконовые жидкости типа СОФЭКСИЛ-ТСЖ представляют из себя кремний-органическую жидкость, являются отечественной разработкой и характеризуются существенно более высокой температурой вспышки по сравнению с синтетическими эфирами, а значит обеспечивает высокую степень пожарной безопасности.

Преимущества Софэксил-ТСЖ:

- широкий диапазон рабочих температур;
- низкая зависимость вязкости от температуры;
- термическая и термоокислительная стабильность;
- пожаробезопасность;
- низкая токсичность.

Главный недостаток:

- при положительной полярности прочность жидкости снижается и становится соизмеримой с трансформаторным маслом.

Стоимость за 1 тонн – 510000 рубля.

Наиболее реализуемым на практике способом оптимизации свойств минеральных изоляционных масел является их смешивание с другими диэлектрическими жидкостями. Исследовательские работы в этом направлении ведутся с начала 2000 г., и к настоящему времени достигнуты некоторые результаты.

Смеси минерального масла с силиконовыми жидкостями не показал хороших результатов, наибольший практический интерес представляет смесь **минерального масла со сложноэфирными жидкостями**. Анализ характеристик таких смесей позволяет выделить следующие преимущества:

- полная совместимость компонентов во всем диапазоне концентраций;
- улучшение экологических показателей за счет повышенной биоразлагаемости;
- рост температур вспышки и воспламенения;
- увеличение предела растворимости воды в полученной смеси с соответствующим повышением пробивного напряжения;
- продление срока службы твердой изоляции;

- сохранение газопоглощающей способности, характерной для сложных эфиров.

Недостатки СОФЭКСИЛ ТСЖ:

- повышение вязкости получаемой изоляционной смеси;
- повышение температуры замерзания;
- снижение окислительной стабильности из-за недостаточной стойкости натуральных эфиров.

Стоимость за 1 тонн – 260000 рубля.

Как показывают приведенные данные, традиционное минеральное масло, будучи самым дешевым диэлектриком, существенно уступает альтернативам по ключевым эксплуатационным показателям. Хотя полная замена на синтетический эфир Midel 7131 обусловлена высокими капитальными затратами, существует альтернативное решение – применение смеси минерального масла и синтетического эфира Midel 7131 в пропорции 80:20.

Данная смесь предлагает оптимальное соотношение цены и качества, превосходя чистые минеральные масла по следующим параметрам: пожарная безопасность, экологичность, надежность и долговечность.

Таким образом, дополнительные первоначальные затраты на современные диэлектрики компенсируются за счет значительного снижения эксплуатационных расходов, минимизации рисков и продления жизненного цикла дорогостоящего актива.

Библиографический список

1. Субханова А.М., Куракина О.Е. Сравнительная характеристика натуральных эфиров и минеральных масел, применяемых в качестве изоляционных жидкостей в трансформаторах / А.М. Субханова, О.Е. Куракина // Научные исследования. – 2021. – № 2. – С. 828-830.

2. Борин В.Н. О применении силиконовых жидкостей в силовых трансформаторах / В.Н. Борин, В.Д. Ковалев, С.Ю. Чуйков // Электротехника. – 2016. – № 6. – С. 58-64.

3. Лютикова М.Н. Применение смесей трансформаторного масла и биоразлагаемых эфиров в качестве изоляции высоковольтного оборудования / М.Н. Лютикова, А.М. Артемов, А.А. Коновалов, А.В. Ридель // Электричество. – 2023. – № 5. – С. 72-83.

4. Жылдызбекова С.Ж. Перспективы использования жидких диэлектриков на основе синтетических сложных эфиров в силовых трансформаторах / С.Ж. Жылдызбекова // Современные проблемы электротехники. – 202 – 0. – № 6. – С. 29-31.

© Жирнова Л.Р., 2025

Э.А. ИСЯНГИЛЬДИНА

e.isyangildina@mail.ru

Науч. руковод. – старший преподаватель Т.Ю. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ ДЛЯ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ 110 КВ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ И ПОДСТАНЦИЯХ

Аннотация: в статье анализируется эффективность применения автоматических приводов для разъединителей 110 кВ на электростанциях и подстанциях.

Ключевые слова: разъединитель, автоматический привод, ручной привод, высоковольтное оборудование, электростанция, подстанция, безопасность, надёжность, эксплуатационные затраты.

Разъединитель представляет собой коммутационный аппарат для напряжения больше 1 кВ, предназначенный для включения/отключения обесточенных участков электрической цепи, изолирования предварительно отключенной (выключателями) части системы, электроустановки, отдельных аппаратов от смежных частей, находящихся под напряжением и для создания видимого разрыва цепи в воздухе. Традиционно применяются ручные приводы, требующие физического участия оператора. В последние годы всё шире внедряются автоматические (электромеханические, пневматические, гидравлические) приводы. Цель исследования – объективно сравнить их эффективность по комплексу критериев[1].

Ручной привод разъединителя – это механическое устройство, предназначенное для дистанционного или местного управления (включения и отключения) высоковольтным разъединителем с помощью мускульной силы оператора. Это один из самых распространенных и надежных типов приводов в электроустановках.

Конструкция привода основана на системе рычагов и тяг, которые преобразуют вращательное движение рукоятки (или штурвала) внутри привода в возвратно-поступательное движение тяг, соединенных с валом разъединителя.

Автоматизированный привод – это электромеханическое или электромагнитное устройство, которое устанавливается на разъединитель и предназначено для его дистанционного включения и отключения без непосредственного участия персонала.

При подаче команды на включение/отключение (дистанционно или местно) электродвигатель через редуктор и систему рычагов поворачивает главный вал привода. Этот вал соединен механическими тягами с полюсами разъединителя, заставляя их поворачиваться и замыкать или размыкать

контакты. В крайних положениях ("Включено"/"Отключено") срабатывают концевые выключатели, которые обесточивают двигатель и отправляют сигнал о конечном положении аппарата в систему управления.

В схемах управления разъединителей обязательно должна предусматриваться блокировка, не допускающая производства операций ими под нагрузкой. Операции с ремонтными разъединителями должны разрешаться только при отключенном положении соответствующих выключателей. Блокировка разъединителей, имеющих электрический привод, выполняется с помощью размыкающих блок-контактов выключателей, которые разрывают цепи управления разъединителями при включенном положении выключателей. Для разъединителей, снабженных ручными приводами, блокировка производится путем механического запирания приводов. Для оперативных разъединителей также существует целый ряд ограничений на проведение операций, которые зависят от назначения и положения разъединителей в схеме распределительного устройства электростанции или подстанции [2]

Принципиальная электрическая схема автоматизированного привода представлена на рис. 1 [3].

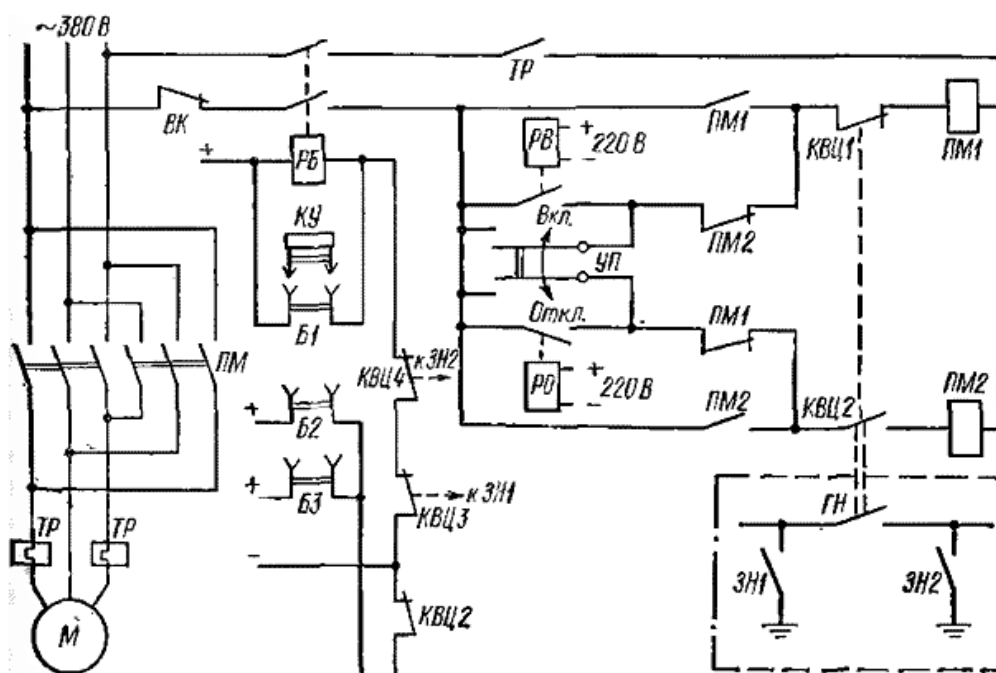


Рис. 28. Принципиальная электрическая схема электродвигательного привода

Критерии сравнительного анализа:

1. При ручном приводе безопасность персонала находится в зоне высокого напряжения, есть риск дуги и травм. Автоматические приводы управляются из защищённого пункта, минимизируя присутствия в опасной зоне. Исходя из этого автоматика существенно снижает риски.

2. В отличие от ручного управления, склонного к ошибкам (недоводы, перекосы) по вине человека, автоматические приводы обеспечивают стабильное

усилие и точный контроль. Это делает механику операций на основе автоматики более предсказуемой и надёжной.

3. Автоматические приводы выполняют коммутацию за 5–15 секунд, что в 2–8 раз быстрее ручных операций (30–120 секунд). В отличие от ручного управления, где скорость зависит от навыка оператора, автоматика обеспечивает стабильное время выполнения.

4. В отличие от ручных приводов, которые позволяют управлять оборудованием только локально, автоматические системы поддерживают интеграцию с SCADA, удалённое управление и сбор данных. Эта функциональность является фундаментальной для создания «умных» сетей, обеспечивая диспетчеризацию и аналитику.

5. Капитальные затраты ручных приводов низки, но трудозатраты и риски аварий высоки. Автоматические приводы имеют высокие капитальные затраты, но низкие расходы на персонал и ремонты. При интенсивной эксплуатации срок окупаемости автоматики составляет 5–10 лет.

Основные перспективы дальнейших исследований для будущего развития включают в себя: совершенствование алгоритмов защиты от ошибочных действий, внедрение беспроводных датчиков для более гибкого мониторинга, интеграцию с системами прогнозного обслуживания для упреждающего ремонта и анализ воздействия внешних условий на безотказность работы. Эти меры направлены на создание более интеллектуальных, устойчивых и самодиагностируемых систем.

Хотя автоматизация демонстрирует экономическую эффективность в долгосрочной перспективе, период окупаемости может составлять 5–10 лет и более. Это создаёт барьер для компаний, ориентированных на краткосрочные финансовые результаты. Многие электроэнергетические объекты эксплуатируются десятилетиями, и их модернизация до уровня автоматизированных систем требует масштабных инвестиций. В некоторых случаях проще и дешевле сохранить ручное управление.

В заключении можно отметить, что переход на автоматические приводы обеспечивает комплексное преимущество по ключевым направлениям. Он кардинально повышает безопасность, исключая нахождение персонала в опасной зоне, и значительно увеличивает надёжность за счёт стабильной и предсказуемой механики. Производительность растёт благодаря многократному ускорению операций, а возможность интеграции в цифровые системы закладывает основу для «умных» сетей. Несмотря на высокие первоначальные вложения, автоматизация демонстрирует убедительную экономическую эффективность, окупаясь за счёт снижения эксплуатационных затрат и рисков.

Опираясь на историю эксплуатации разъединителей на электростанциях и подстанциях, переход на автоматизацию – это долгосрочный процесс, требующий комплексного подхода. Автоматизированные приводы находят применение там, где ручное управление невозможно или неэффективно: на удалённых подстанциях без персонала, в сложных схемах, требующих частых

переключений, в системах АВР, где важна скорость, а также для разъединителей, расположенных в труднодоступных или опасных для персонала местах.

Рекомендация: на электростанциях и подстанциях с интенсивной коммутацией и высокими требованиями к безопасности целесообразно поэтапно заменять ручные приводы на автоматические. Приоритет — участки с частыми операциями и повышенными рисками.

Библиографический список

1... Эффективность работы разъединителей РМНСА с автоматизированным приводом. [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://avtprom.ru/article/effektivnost-raboty-razedinitele> Дата обращения: 06.11.2025 г.

2... Лабок О. П., Семенов Г. Г., Управление разъединителями, сигнализация и блокировка. – М.: Энергия, 1978.

3... Электродвигательные приводы разъединителей. [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.ess-ltd.ru/elektro/elektrodvigatelnye-privody-razediniteley.html> Дата обращения: 06.11.2025 г.

© Исянгильдина Э.А., 2025

У.И. САНДАКОВА

ulya.sandakova@bk.ru

Науч. руковод. – старший преподаватель Т.Ю. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ АМОРФНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ В СИСТЕМЕ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Аннотация: в статье рассматриваются аморфные трансформаторы, их преимущества и разновидности.

Ключевые слова: Аморфные трансформаторы, аморфные материалы, трансформаторы собственных нужд.

В современном мире ежедневно растёт потребление электроэнергии. Это связано с развитием технологий и увеличением производства. С ростом потребления электроэнергии растут и её потери. Поэтому необходимо искать способы снижения потерь. Весомую роль в этом вопросе играет энергоэффективность трансформаторов. Современные требования к качеству поставляемой электроэнергии и надежности энергосистем создают необходимость внедрения трансформаторов нового поколения, которые должны обладать минимальными потерями при работе без нагрузки и проявлять высокую надежность в условиях эксплуатации.

Трансформатор – устройство для преобразования электрической энергии по принципу электромагнитной индукции. Основу конструкции трансформатора составляют две или более обмотки, которые наматываются на общий сердечник. Сердечник служит магнитопроводом, он концентрирует магнитный поток и усиливает индукционную связь обмоток, что необходимо для эффективного преобразования электрической энергии.

При работе трансформатора возникают так называемые «потери в стали» на холостом ходу и «потери в меди» под нагрузкой. Потери на холостом ходу вызываются гистерезисом и вихревыми токами. На электрических станциях и особенно подстанциях трансформаторы часто недогружены, что приближает их к режиму работы на холостом ходу, а значит существенно увеличиваются потери холостого хода. Эти потери можно уменьшить благодаря использованию аморфных трансформаторов.

Аморфный трансформатор – это трансформатор, сердечник которого выполнен из аморфной стали.

Больше пятнадцати лет назад за границей началось производство первых распределительных трансформаторов с аморфным сердечником. Лидерами в этой области являются США, Китай и Индия. Активное применение таких

трансформаторов также наблюдается в Мексике, Бразилии, Японии и Южной Корее. Согласно данным исследований уже пять лет назад по всему миру было установлено свыше 1,3 миллиона трансформаторов с аморфными сердечниками [1].

Производство трансформаторов с аморфным сердечником в России долгое время было ограничено некоторыми факторами: отсутствием отечественных производителей аморфной ленты, а также высокой ценой на сплав. На сегодняшний день российский рынок демонстрирует активное развитие в сфере энергоэффективных трансформаторов, произведенных в России.

Аморфный материал - новый тип материала. Этот материал – специальный вид прецизионных сплавов. Его особенность состоит в том, что атомы в его структуре не имеют периодичного расположения. Аморфный материал отличается физическими свойствами. Благодаря своей структуре аморфные сплавы имеют такие преимущества как высокая магнитная проницаемость и низкая коэрцитивная сила [2].

Высокая магнитная проницаемость позволяет снизить ток намагничивания, необходимый для создания номинального магнитного потока. Это способствует снижению потерь холостого хода и повышает энергоэффективность трансформатора.

Низкая коэрцитивная сила указывает на малое сопротивление материала к перемагничиванию. Это значительно снижает гистерезисные потери в сердечнике трансформатора.

Использование аморфной стали позволяет создавать более эффективные и компактные устройства.

Сердечник аморфного трансформатора выполняется из аморфной ленты, которая наматывается в непрерывную однослойную ленту вокруг сердечника. Такая технология позволяет уменьшить потери на вихревые токи за счёт малой толщины ленты и повысить магнитную проницаемость.

Аморфная сталь изготавливается с помощью метода быстрого охлаждения в жидкой фазе. Исходные материалы, такие как железо, кремний и бор, расплавляются в индукционной печи. Далее жидкий металл охлаждается на поверхности вращающегося барабана. Чтобы не допустить кристаллизацию металла, скорость охлаждения доходит до 10^6 К/с. Так получается аморфная лента [3].

Аморфные трансформаторы имеют ряд преимуществ перед традиционными трансформаторами.

Потери холостого хода и потери нагрузки аморфных трансформаторов гораздо ниже, чем у традиционных. Замена трансформаторов на аморфные даст уменьшение потерь холостого хода на 70–80%. Благодаря низким потерям аморфные трансформаторы более эффективны, что повышает общую энергоэффективность энергосистем [4].

Аморфные трансформаторы обладают стойкостью к перемагничиванию, так как потери на гистерезис минимальны.

Также аморфные трансформаторы обладают повышенной стойкостью к перегрузкам. Меньший нагрев сердечника при тех же нагрузках, что и у традиционных трансформаторов, повышает надёжность и увеличивает срок службы.

Аморфные материалы обладают высокой коррозионной стойкостью, что делает трансформаторы более долговечными.

Сниженные потери энергии аморфных трансформаторов позволяют уменьшить потребление электроэнергии и сократить выбросы углекислого газа, что делает их более предпочтительными с точки зрения соответствия экологическим требованиям.

Недостатками аморфных трансформаторов является повышенная первоначальная стоимость. Однако за счёт своей энергоэффективности аморфные трансформаторы себя быстро окупают.

Существует несколько типов трансформаторов с аморфным сердечником.

Сухие трансформаторы с аморфным сердечником (ТСЛА) используют на объектах, для которых каждый киловатт энергии на счету. Они конструктивно и визуально не отличаются от обычных сухих трансформаторов. Потери холостого хода у ТСЛА в 4–8 раз меньше, чем у обычных трансформаторов. К примеру, для трансформатора ТСЛА 1000 кВА потери составляют 410 Вт, а для обычного сухого трансформатора других производителей эта величина равна в среднем 1550 Вт – 2200 Вт. Благодаря стандартизированным техническим и эксплуатационным характеристикам, трансформаторы ТСЛА легко заменяют аналогичное оборудование других производителей, что исключает дополнительные расходы на проектирование [5].

Сверхэнергоэффективные герметичные масляные трансформаторы с аморфным сердечником (ТМГА) также используются на объектах, на которых особое внимание уделяется экономии электроэнергии. Линейка трансформаторов ТМГА конструктивно и визуально не отличается от обычных масляных трансформаторов. Важно понимать, что трансформатор даже при отсутствии нагрузки потребляет электроэнергию, которая преобразуется в тепловые потери, и это неизбежно. Например, у трансформатора ТМГА 1000 кВА эти потери составляют 410 Вт, в то время как у обычных масляных трансформаторов других производителей данный показатель в среднем колеблется от 1400 Вт до 2000 Вт, что в 3,5–5 раз больше. Трансформаторы ТМГА с аморфным сердечником дают возможность потребителю экономить в 5 раз больше энергии. Трансформаторы ТМГА обладают унифицированными техническими и эксплуатационными параметрами, что обеспечивает их полную совместимость и возможность беспрепятственной замены существующих трансформаторов других марок без дополнительных проектных работ [6].

Аморфные трансформаторы типа ТСЛА и ТМГА серийно изготавливаются на данный момент на высокое напряжение 6; 6,3; 6,6; 10; 10,5 кВ и низкое напряжение 0,4 кВ. Поэтому могут использоваться в качестве трансформаторов в системе собственных нужд для питания потребителей 0,4 кВ.

Трансформаторы собственных нужд (ТСН) – трансформаторы, которые необходимы для обеспечения питания оборудования, необходимого для надёжной работоспособности электрических станций. Трансформаторы собственных нужд гарантируют энергообеспечение систем управления, освещения и других систем необходимых для нормального функционирования электрического оборудования. [7].

Трансформаторы собственных нужд работают по тому же принципу, что и стандартные трансформаторы. Они имеют две обмотки – первичную и вторичную. Электрический ток, поступающий на первичную обмотку, создает магнитный поток, который индуцирует ток во вторичной обмотке. Соотношение числа витков в этих обмотках определяет изменение напряжения и тока на выходе. Часто ТСН имеют несколько вторичных обмоток с различными характеристиками, что позволяет подключать к одному трансформатору несколько потребителей одновременно.

Использование аморфных трансформаторов в качестве трансформаторов собственных нужд на электрических станциях и подстанциях приносит ощутимые выгоды: снижаются эксплуатационные потери и повышается общий уровень энергоэффективности системы. Трансформаторы ТСЛА и ТМГА предлагают значительные технологические и экономические преимущества, делая их оптимальным выбором для модернизации существующих электрических станций и строительства новых.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что трансформаторы с аморфным сердечником демонстрируют превосходство над обычными трансформаторами, благодаря инновациям в материалах, конструкции и эксплуатационным характеристикам. Их отличают минимальные потери энергии, продолжительный срок службы и существенный вклад в энергосбережение, что делает их приоритетным выбором для сокращения энергопотребления и защиты окружающей среды.

Библиографический список

1. Технологический суверенитет в российской энергетике: энергоэффективные трансформаторы с сердечниками из аморфной стали // URL: <https://eepir.ru/article/tehnologicheskij-suverenitet-v-nbsp-rossijskoj-energetike-energoeffektivnye-transformatory-s-nbsp-serdechnikami-iz-amorfnoj-stali/>.
2. Быковская Л.В., Быковский В.В. О применении аморфных сталей в магнитопроводах трансформаторов напряжения // Вестник Чувашского университета. – 2020. – №3. – С. 58–66.
3. Аморфные Стали для Сердечников Трансформаторов: Преимущества и Применение // URL: <https://buy-metal.ru/stati/amorphous-steel-for-transformer-cores/#protsess-izgotovleniya-amorfnyh-staley>.
4. Аморфные трансформаторы сравнении с традиционными трансформаторами: комплексный сравнительный анализ // URL: <https://www.casting-parts.net/ru/amorphous-transformer-compared-to/>.

5. ТСЛА с аморфным сердечником // <http://rostradecom.ru/equipment/transformers/dry-type-transformers/tsl-amorf/>.
6. ТМГ с аморфным сердечником // URL: <http://rostradecom.ru/equipment/transformers/oil-transformers/transformers-tm-tmg/amorf/>.
7. Что такое ТСН (трансформатор собственных нужд)? // URL: <https://zavod-96.ru/info/articles/что-такое-tsn-transformator%E2%80%8C-sobstvennyh%E2%80%8C-nuzhd/?ysclid=d7u1f0pof0358650294>.

© Сандакова У.И., 2025

Р.Т. ШАЙДУЛЛИН
rustemsht@yandex.ru

Науч. руковод. – старший преподаватель Т.Ю. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СОБСТВЕННЫЕ НУЖДЫ ГРЭС ПРИ ПЕРЕХОДЕ ОТ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С НИЗКИМ КПД НА СОВРЕМЕННЫЕ IE3-IE4

Аннотация: в статье рассматривается влияние перехода от асинхронных двигателей с низким КПД к современным высокоэффективным электродвигателям классов IE3–IE4 на снижение расхода электроэнергии на собственные нужды ГРЭС, а также кратко анализируются основные организационно-технические вопросы реализации такой модернизации.

Ключевые слова: ГРЭС, собственные нужды, асинхронный двигатель, энергоэффективность, IE3, IE4.

В структуре топливно-энергетических затрат тепловых электростанций заметную долю занимает потребление электроэнергии на собственные нужды. Для государственных районных электростанций (ГРЭС) эта величина обычно находится в диапазоне 5–8 % от установленной электрической мощности станции и при устаревшем оборудовании может быть ещё выше. К потребителям собственных нужд относятся большое количество механизмов, обеспечивающих работу основных агрегатов электростанции – дутьевые вентиляторы, дымососы, дробилки, мельницы, циркуляционные насосы и другие [1].

На ГРЭС для привода большинства рабочих механизмов используют трехфазные асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Многие из них разработаны по устаревшим стандартам и имеют сравнительно низкий коэффициент полезного действия (КПД). В последние годы в глобальной и отечественной практике отмечается активное внедрение электродвигателей, относящихся к высоким классам энергоэффективности IE3 и IE4. Данные агрегаты характеризуются минимизацией потерь, повышенной эксплуатационной надежностью и более высоким коэффициентом мощности.

Собственные нужды электростанции (СН) – это совокупность вспомогательных установок и относящейся к ним электрической части, обеспечивающих работу электростанции [2].

Большинство оборудования СН работает в непрерывном режиме, близком к номинальному, что приводит к высокой продолжительности использования установленной мощности.

На электростанциях большой мощности расход топлива напрямую зависит от эффективности работы электроприводов. Это означает, что мероприятия по

повышению их энергоэффективности могут снизить удельный расход топлива на выработку электроэнергии и сократить эксплуатационные расходы. В данной работе мы рассматриваем конкретное решение этой задачи: замену старых, неэффективных двигателей на современные, более энергоэффективные.

Международная классификация энергоэффективности асинхронных двигателей основана на стандарте IEC 60034-30-1. В России действует ГОСТ Р 54413-2011, который был введен в действие 01.06.2012 года и основан на международном стандарте IEC. С 1 марта 2018 года действует ГОСТ IEC 60034-30-1-2016, который полностью гармонизирован с международным стандартом IEC 60034-30-1:2014 и включает классы IE1-IE4 [3].

Классификация энергоэффективности двигателей:

- IE1 (Стандартная эффективность): это базовый, устаревший класс;
- IE2 (Высокая эффективность): долгое время был стандартом для энергоэффективных двигателей, а сейчас во многих случаях является минимально допустимым уровнем;
- IE3 (Премиум эффективность): современный промышленный стандарт. Обеспечивает значительную экономию электроэнергии по сравнению с классом IE2 и является рекомендуемым для большинства новых установок;
- IE4 (Супер-премиум эффективность): наивысший на данный момент класс. Такие двигатели используются на объектах, где требуется максимальная экономия энергии и снижение эксплуатационных расходов на протяжении всего жизненного цикла [4].

На многих ГРЭС до сих пор эксплуатируется парк двигателей, который по современным меркам относится к уровням IE1 и ниже: это машины старых серий с увеличенными потерями как в активной стали, так и в обмотках, а также с повышенными механическими потерями.

Современные двигатели IE3–IE4 спроектированы таким образом, чтобы уменьшить основные составляющие потерь. Применяется более качественная электротехническая сталь, оптимизируются магнитопроводы статора и ротора, увеличивается сечение проводников, улучшается система вентиляции и подшипниковые узлы [5]. В результате удаётся повысить КПД двигателя на несколько процентов по сравнению с устаревшими аналогами.

Современные высокоэффективные двигатели не только экономят энергию, но и снижают потребление реактивной мощности из сети благодаря более высокому коэффициенту мощности. Таким образом, повышение энергоэффективности двигателей оказывает комплексное влияние на электрическую часть ГРЭС.

Переход от асинхронных двигателей с низким КПД к двигателям классов IE3–IE4 ведёт к уменьшению активной мощности, потребляемой на собственные нужды. При неизменной механической нагрузке на валу агрегата уменьшение потерь в самом двигателе приводит к снижению потребляемой электрической мощности. Для станции это означает возможность освободить часть мощности для отпуска в сеть или работать при тех же режимах с меньшей нагрузкой на

генераторное оборудование, что позволит уменьшить его износ и увеличить срок службы.

Чтобы заменить устаревшие двигатели на более эффективные (классов IE3–IE4), необходим комплексный подход. Начинается всё с инвентаризации и энергоаудита, чтобы выявить двигатели с большим временем работы и низким КПД. Приоритет отдается модернизации крупных насосов, дымососов и вентиляторов. Затем проверяется совместимость новых двигателей с существующим оборудованием (размеры, крепления, охлаждение, системы управления и защиты, возможность использования частотных преобразователей). Параллельно проводится экономический анализ, учитывающий стоимость покупки и установки, а также ожидаемую экономию электроэнергии, снижение затрат на ремонт и повышение надежности. На основе этих данных разрабатывается поэтапный план замены, интегрированный в общий план модернизации станции.

Помимо экономии электроэнергии, внедрение высокоэффективных электродвигателей приносит эксплуатационные преимущества. Современные двигатели проектируются с учётом повышенных требований по надёжности, их конструкция включает улучшенные системы охлаждения, качественные изоляционные материалы и более строгие требования к вибрации и балансировке. Это позволит снизить вероятность отказов и увеличивает межремонтный интервал.

Снижение потерь в двигателе уменьшает тепловыделение. В помещениях, где установлены агрегаты это выразится в снижении температуры воздуха, улучшении условий труда персонала и увеличении срока службы соседнего оборудования. Дополнительным преимуществом является снижение уровня шума и вибрации, что уменьшает динамические нагрузки на фундаменты и трубопроводы и снижает риск усталостных повреждений.

Применение двигателей классов IE3–IE4 важно рассматривать не отдельно, а как элемент общей программы по повышению энергоэффективности и модернизации системы управления станцией.

Максимальный эффект от таких двигателей достигается при их интеграции с частотно-регулируемыми приводами и системами мониторинга их рабочего состояния. Частотное регулирование позволяет подстраивать скорость вращения агрегатов под текущие потребности, избегая избыточного потребления энергии. В свою очередь, системы мониторинга, непрерывно фиксируя такие параметры, как ток, вибрация и температура, дают возможность перейти от традиционных плановых ремонтов к более эффективному обслуживанию по фактическому состоянию оборудования. Это также способствует более точной настройке режимов работы электроприводов.

Повышение энергоэффективности и конкурентоспособности тепловых электростанций (ГРЭС) во многом зависит от сокращения их собственных энергозатрат. Поскольку основная часть этой энергии расходуется на работу электродвигателей вспомогательного оборудования, их модернизация имеет решающее значение. Переход от асинхронных двигателей с низким КПД к

современным высокоэффективным двигателям классов IE3–IE4 позволяет снизить активную мощность необходимую на собственные нужды, улучшить режимы по реактивной мощности и одновременно повысить надёжность и ресурс оборудования.

Комплексный подход, включающий аудит, поэтапную замену двигателей, установку частотных преобразователей и систем мониторинга, гарантирует долгосрочное снижение собственных нужд ГРЭС. Внедрение двигателей IE3–IE4 является важным шагом в техническом перевооружении ТЭС для повышения эффективности и надежности производства электроэнергии.

Библиографический список

1. Электрооборудование электрических станций и подстанций: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Л.Д. Рожкова, Л. К. Карнеева, Т. В. Чиркова. – 10-е изд., стер. М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 448 с.
2. СТО 70238424.27.100.041-2009. Системы питания собственных нужд ТЭС.
3. ГОСТ IEC 60034-30-1 2016. Машины электрические вращающиеся. Классы КПД двигателей переменного тока, работающих от сети (код IE)
4. Таблица: Класс энергоэффективности электродвигателей, IE. // URL: <https://www.elec.ru/library/info/klass-energoeffektivnosti-ie/?ysclid=mhxaoqkgd9410105001>.
5. Энергоэффективные электродвигатели IE1-IE5: глубокий анализ классов энергоэффективности. // URL: <https://ek-top.ru/articles/elektrotehnika/energy-efficient-electric-motors-ie1-ie5-explained/>.

© Шайдуллин Р.Т., 2025

А.К. АНДРЕЕВ

andreika2021007@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент М.Б. ГАРЕЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Аннотация: в данной работе исследуются перспективы использования компьютерного зрения и дополненной реальности с целью улучшения показателей эффективности и безопасности в процессах управления и технического обслуживания электроэнергетических объектов. В статье изучены концепции цифрового моделирования электроустановок. Представлен обзор практических примеров внедрения систем, базирующихся на машинном зрении, как в России, так и в других странах мира. Кроме того, выполнен экономический анализ, наглядно демонстрирующий существенный положительный эффект от внедрения подобных технологий.

Ключевые слова: электроустановка, машинное зрение, дополненная реальность, интеллектуальные системы, диагностика, ЛЭП, подстанция, экономическая эффективность, цифровой двойник.

Нынешние вычислительные средства и математические методы позволяют эффективно имитировать процессы в электроустановках (ЭУ), что делает более доступным их проектирование и исследование [1]. В данной статье предлагается использовать концепцию моделирования ЭУ в сочетании с технологиями машинного зрения для облегчения оперативного обслуживания и ремонта.

Предполагается, что с помощью портативного компьютера сотрудники будут получать данные об объекте, мерах безопасности и рекомендации по устранению выявленных неисправностей. Это даст возможность уменьшить количество ошибок, вызванных человеческим фактором, и случаев поражения электрическим током при проведении срочных ремонтных работ.

Укрупненная информационная модель электроустановки

В рамках данной работы представлена концептуальная модель в укрупненном представлении ключевых элементов системы (рисунок 1). Данная модель служит цифровым двойником физического объекта и интегрируется с системами машинного зрения, предоставляя персоналу актуальные данные о состоянии оборудования, историю его обслуживания и пошаговые инструкции для ремонтных операций в формате дополненной реальности.

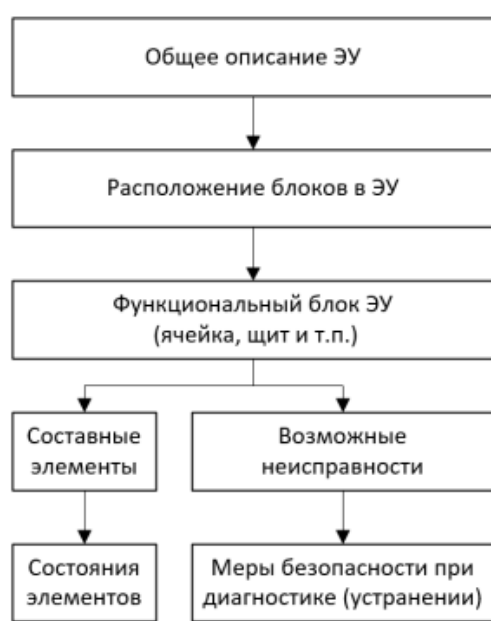


Рис. 1. Укрупненная схема модели электроустановки

Машинное зрение в электроэнергетике: от теории к практике

Одним из наиболее перспективных направлений является применение машинного зрения для анализа технического состояния оборудования, такого как заземляющие ножи на подстанциях. Это инновационное направление повышает безопасность и эффективность эксплуатации.

Цели и задачи применения машинного зрения:

1. Автоматизация инспекции: Снижение человеческого фактора и стремительное увеличение скорости проверки.
2. Выявление дефектов: Обнаружение трещин, признаков коррозии, износа и других повреждений с высокой точностью.
3. Непрерывный мониторинг: Круглосуточный сбор данных, позволяющий предвидеть ремонты и оптимизировать графики плановых проверок.

Технология реализации:

1. Камеры высокого разрешения и тепловизоры: Установка стационарных камер или использование мобильных платформ (дроны, роботы).
2. Алгоритмы обработки изображений: Предобработка, обнаружение объектов и классификация их состояния с помощью нейронных сетей.
3. Интеграция с системами управления: Автоматическое уведомление о необходимости обслуживания в единый центр управления сетями.

Опыт применения в России: реализованные проекты и экономический эффект

1. Диагностика ЛЭП с помощью БПЛА в «Россети»

Использование беспилотных летательных аппаратов, оснащенных камерами и инфракрасными датчиками, позволило перенести осмотр линий электропередачи в безопасную дистанционную зону. Система выявляет обрывы

проводов, повреждения изоляторов, контролирует провисание и деформации с высоты птичьего полета.

Результаты внедрения в ПАО «Россети»:

1. Время инспекции сократилось в 5 раз (с 2 дней до нескольких часов на участок).
2. Обнаружено на 30% больше дефектов по сравнению с ручным осмотром.
3. Снижены риски для персонала за счет дистанционного проведения работ.

2. Мониторинг оборудования подстанций в Московской области

На подстанции 110 кВ в Московской области внедрена система машинного зрения, осуществляющая постоянный контроль за трансформаторами, разъединителями и фундаментами. Технология обнаруживает утечки масла, перегрев контактов и коррозию.

Результаты:

1. Автоматическое обнаружение перегрева контактов с точностью 98%.
2. Снижение частоты плановых осмотров на 40% за счет автоматизации.
3. Предотвращено 3 аварии за год благодаря ранней диагностике.

Наглядное сравнение традиционных методов и технологий машинного зрения на примере данных ПАО «Россети» представлено в таблице 1.

Таблица 1

Экономическое сравнение методов инспекции для ЛЭП (ПАО «Россети») [2]

Критерий	Традиционный осмотр	Машинное зрение	Экономический эффект
Стоимость инспекции (1 км ЛЭП)	50 000 руб. (с бригадой)	10 000 руб. (БПЛА + ПО)	Экономия 80%
Время диагностики	1–2 дня	1–2 часа	Ускорение в 10 раз
Точность обнаружения дефектов	70–80% (зависит от опыта)	90–95%	Снижение риска аварий
Затраты на обучение	Постоянные (курсы для персонала)	Единоразовые (настройка ИИ)	Долгосрочная выгода
Риск для персонала	Высокий (работа на высоте)	Минимальный	Снижение страховых расходов

3. Кейс: Подстанция «Курдюм» (Саратовская область)

На подстанции «Курдюм», обеспечивающей электроэнергией регион с населением 2,4 млн человек, развернута комплексная система мониторинга. Она объединяет тепловизионные, аудио- и визуальные модули, а также БПЛА для обследования ЛЭП.

Результат: полный дистанционный контроль оборудования без подъема на опоры, оперативное выявление дефектов и повышение надежности энергоснабжения.

Международный опыт: лидеры внедрения

1) Германия: цифровизация подстанций *Siemens Energy*

Объект: Подстанция *Dortmund-Nord* (110/10 кВ).

Технологии:

- 28 стационарных тепловизионных камер *FLIR A850*;
- 2 автономных дрона *DJI Matrice 300*;
- цифровой двойник в платформе *Siemens Xcelerator*.

На рисунках 2,3 представлены результаты диагностики электрооборудования.



Рис. 2. Фото с тепловизионной камеры *FLIR A850* ОРУ подстанции

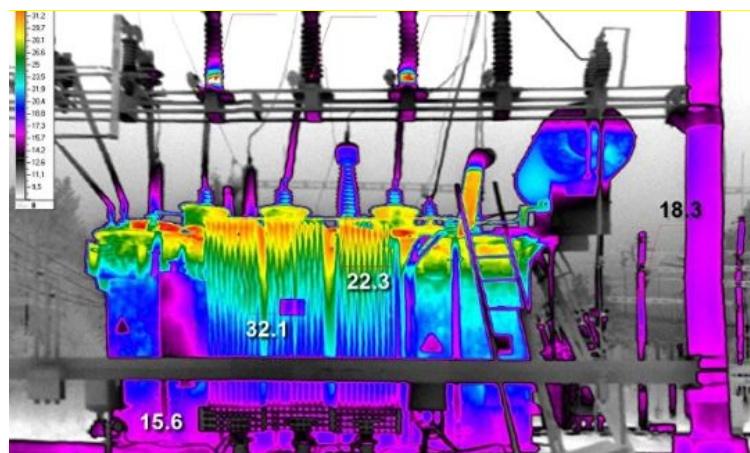


Рис. 3. Фото с тепловизионной камеры *FLIR A850* трансформатора

Внедрение системы позволило:

- снизить аварийность на 25% (дефекты изоляции) и 40% (перегрев контактов);
- достичь экономии \$1.2 млн за 3 года при окупаемости 2.8 года;
- сократить персонал инспекции с 5 до 1 специалиста [3].

2) Китай: массовый мониторинг ЛЭП *State Grid Corporation*

Объект: Участок ВЛ 500 кВ длиной 248 км (412 опор, 9428 изоляторов).

Технологии:

- флот из 15 дронов *DJI Mavic 3T* с ИК-камерами;
- нейросеть *YOLOv5m* (точность 98.4%);
- облачная платформа *SGCC Cloud* для анализа данных.

Ключевые показатели:

- осмотр 1 км ЛЭП за 15 минут (против 2 часов при ручном методе).
- точность распознавания дефектов – 98.7%.
- экономия \$58 млн/год за счет снижения затрат на инспекции на 70%.
- внедрение предиктивных моделей износа оборудования [4].

3) США: интеллектуальные сети *PJM Interconnection*

Программа: «*AI-Driven Grid Inspection*».

Технологии:

- гиперспектральные камеры для выявления микротрещин;
- графовые нейросети для прогноза износа оборудования;
- эдж-компьютеры *NVIDIA Jetson AGX Orin* для обработки данных в реальном времени на месте.

Ключевые показатели:

- увеличение межремонтного интервала трансформаторов с 4 до 6 лет;
- снижение затрат на обслуживание на 35% (\$4.7 млн/год);
- обнаружение 214 скрытых дефектов за 1 год и предотвращение 8 потенциальных аварий [5].

Сводный экономический анализ по международным стандартам представлен в таблице 2.

**Сравнительный анализ для подстанции 110 кВ
(на основе данных Siemens)**

Параметр	Традиционный осмотр	Машинное зрение	Эффект внедрения
Персонал (год)	\$50-100 тыс. (2-4 инженера)	\$10-20 тыс. (1 оператор)	Экономия 60-80%
Частота проверок	1-4 раза в год	24/7	Увеличение в несколько раз
Стоимость оборудования	\$5-20 тыс.	\$50-200 тыс.	Окупаемость 2-5 лет
Затраты на ремонты	\$100-500 тыс./год	\$20-100 тыс./год	Снижение на 50-80%
Простои оборудования	10-50 час/год	2-10 час/год	Сокращение на 80%

Заключение

Проведенный анализ убедительно демонстрирует высокую эффективность внедрения интеллектуальных технологий, и машинного зрения, в частности, для повышения надежности электроснабжения и управления качеством обслуживания объектов электроэнергетики.

Библиографический список

1. Круглов, Р. М. Разработка концепции модели электроустановки, алгоритма поиска и устранения неисправностей с помощью технологий машинного зрения и дополненной реальности // Молодой ученый. 2020. № 40 (330). С. 8-11. URL: <https://moluch.ru/archive/330/73982>.
2. Отчёт «Россети» о внедрении БПЛА, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://rt-static.rt.ru/sites/default/files/b2b/docs/bpla.pdf> (дата обращения 01.11.2025)
3. Годовой отчет Siemens AG, 2023. [Электронный ресурс]. URL: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:be1828a9-2368-4c3b-a85f-f1bcb1f14a59/Siemens-Annual-Report-2023.pdf> (дата обращения 03.11.2025)
4. Материалы State Grid Corporation of China. [Электронный ресурс]. URL: <https://rus.yidaiyilu.gov.cn/z/240513-1/index.shtml> (дата обращения 04.11.2025)
5. Отчет PJM State of the Market, 2023. [Электронный ресурс]. URL: https://www.monitoringanalytics.com/reports/PJM_State_of_the_Market/2023/2023-som-pjm-sec12.pdf (дата обращения 06.11.2025)

© Андреев А.К., 2025

А.Р. БАТЫЕВ

arsen.batyev@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доц. Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Аннотация: в статье рассмотрено значение подшипникового узла при работе электрической машины, определены факторы, влияющие на срок службы электрической машины. Приведён расчёт выбора подшипника качения и его посадки в зависимости от радиальной нагрузки.

Ключевые слова: электрическая машина, подшипник, класс точности, срок службы.

Подшипники являются опорами валов, которые воспринимают нагрузки, приложенные к валу или оси, и передают их на корпус машины. Качество подшипников в значительной степени определяет надёжность и долговечность электрической машины [4]. Поэтому при эксплуатации электрической машины подшипниковый узел имеет важное значение. Он влияет на надёжность и срок службы электрической машины, а также на уровень шума и вибрации. **Согласно ГОСТ 27 002-2015 срок службы электрической машины – это календарная продолжительность эксплуатации машины от начала эксплуатации или её возобновления после капитального ремонта до момента достижения предельного состояния её составляющих [1].**

Источниками механической вибрации и шума в электрических машинах является остаточный небаланс ротора, в т.ч. и подшипников. Вибрация может стать существенным источником структурного шума в быстроходных машинах. Вибрация подшипников качения вызывается отклонением колец и тел качения от идеальной формы, их разноразмерностью и наличием между ними зазоров. Причинами вибраций могут быть разностенность, гранность и овальность колец, асимметрия расположения тел качения, волнистость дорожек качения или их износ, несовершенство монтажа подшипников в электрической машине. Кроме того, даже при идеальной форме, подшипники качения из-за упругих деформаций деталей, проскальзывания и ударов тел качения в местах контакта, неточности монтажа подшипника в электрической машине и качества смазки являются источниками вибраций. Спектры вибраций подшипников качения весьма широки – от десятков Гц до десятков кГц [3].

При проектировании электрической машины в зависимости от радиальной нагрузки определяется тип подшипника, от которого будет зависеть технология сборки электрической машины и дальнейшая эксплуатация.

Эксплуатационные затраты на обслуживание якорных подшипников качения, снижению которых сейчас уделяется большое внимание, велики. Для них требуется дозаправка консистентной смазкой с периодичностью 1 раз в 3 – 4 месяца, помимо качества изготовления и обслуживания моторно-якорных подшипников, их надёжность, в основном, определяется уровнем напряжения по скоростному фактору, радиальным и осевым нагрузкам. В свою очередь, они же определяются кинематической схемой механического тягового привода [2]. Для малошумных электрических машин предпочтение следует отдавать радиальным шариковым подшипникам качения с упругим нажатием по оси и радиально-упорным подшипникам качения.

При неизменном направлении осевой нагрузки (F_A) и отношении осевой и радиальной нагрузки (F_R), $F_A/F_R < 0,7$ рекомендуется применение радиальных шариковых подшипников качения. Для отношения $1,3 > F_A/F_R > 0,7$ при неизменном F_A следует применять радиально-упорный подшипник качения с углом 12° или 15° или радиальный шариковый подшипник качения с повышенным радиальным зазором [3].

Тип подшипника определяется при проектировании исходя из условий работы машины и требований по её долговечности. При этом не следует увеличивать размеры подшипников, предусматривая слишком большие запасы по долговечности, так как при увеличении размеров подшипника увеличивается его собственная вибрация [3].

Далее приведён алгоритм расчёта выбора посадки подшипника для двигателя в зависимости от радиальной нагрузки и класса точности.

1. Определение исходных данных. Например,
диаметр посадки – $d_4 = 70$ мм;
радиальная нагрузка на подшипник – $P = 15$ кН;
условия работы – нормальные [8];
класс точности: 6 [8];

2. Определение типа подшипника из перечня возможных типов и конструктивных размеров по таблице 1.

Таблица 1

Серия подшипников и их параметры

Серия подшипника по ГОСТ 520-2011	Динамическая грузоподъёмность C , Н	Отношение радиальной нагрузки к динамической грузоподъёмности, P/C
6-0114	37700	0,398
6-0214	61800	0,243
6-0314	104000	0,144
6-0414	143000	0,105

Для нормального режима работы необходимо выполнение условия [3]

$$0,07 < P / C < 0,15;$$

Выбираем подшипник 6-0314 в соответствии с диаметром и грузоподъёмностью подшипника по расчётам таблицы 1. Для данного в соответствии с ГОСТ 520-2011:

- внутренний диаметр - $d = 70$ мм;
- наружный диаметр - $D = 150$ мм;
- ширина - $B = 35$ мм;
- радиус закругления фаски - $r = 3,5$ мм.

3. Выбор посадки подшипника

Интенсивность радиальной нагрузки P_r на нагруженное кольцо (в нашем случае внутреннее) по формуле [9]:

$$P_r = \frac{R}{B_r} \times K_n \times F \times F_a = \frac{15000}{35 - 2 \times 3,5} \times 1 \times 1 \times 1 = 535,714 \text{ кН/м}, \quad (1)$$

где $R = P = 15$ кН – радиальная нагрузка на подшипник;

B_r – рабочая ширина подшипника, мм;

$K_n = 1$ – динамический коэффициент посадки при вибрации (при перегрузке до 150%, умеренных толчках и вибрациях $K_n = 1$);

$F = 1$ – коэффициент, учитывающий степень ослабления посадочного натяга (при массивном вале) табл.4.90 [7];

$F_a = 1$ – коэффициент неравномерности распределения радиальной нагрузки между рядами двухрядных или между сдвоенными подшипниками (для однорядного подшипника). табл.4.91 [7].

Рабочая ширина подшипника B_r , мм определяется по формуле [9]:

$$B_r = (B - 2r) \times n = (35 - 2 \times 3,5) \times 1 = 28 \text{ мм}, \quad (2)$$

где $n = 1$ – количество подшипников на одной опоре.

4. Выбор поля допуска

Определив интенсивность для циркуляционно нагруженного кольца, по таблице 4.92 [7] выбираем поле допуска для вала, сопрягаемого с этим кольцом: при

$P_r = 535,714$ кН/м и $d = 70$ мм Выбираем – K6.

При этом условное обозначение соединения «внутреннее кольцо–вал»:

$$\varnothing 70 \frac{L0}{h5}, \left(\frac{-15}{\frac{0}{13}} \right),$$

где $L0$ – поле допуска внутреннего кольца подшипника нулевого класса точности табл.4.85 [7]

Условное обозначение соединения «корпус – наружное кольцо подшипника»:

$$\varnothing 150 \frac{K6}{l0}, \left(\frac{\frac{29}{4}}{\frac{0}{-25}} \right),$$

где $l0$ – поле допуска наружного кольца подшипника нулевого класса точности табл.4.85 [7]

5. Схематическое изображение полей допусков.

В итоге приводится схема полей допусков (рис 1).

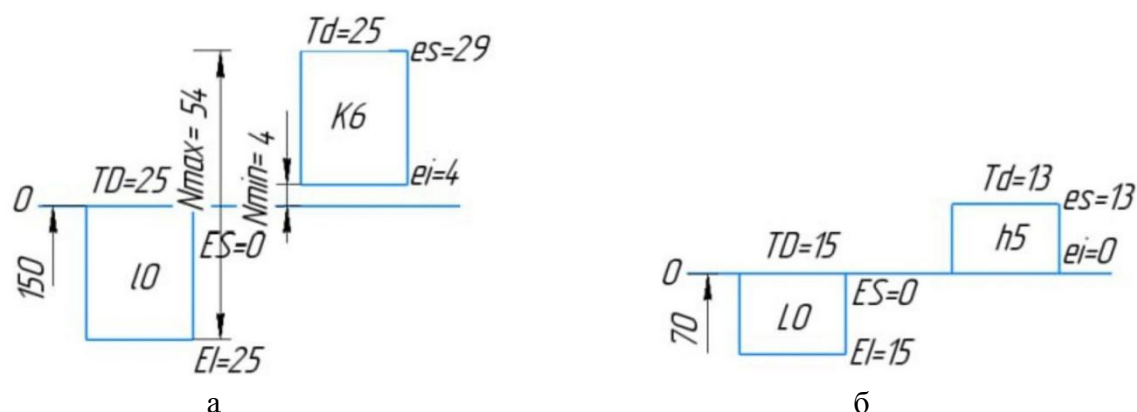


Рис. 1. Схемы полей допусков соединений:
а «внутреннее кольцо – вал»; б «корпус – наружное кольцо»

При проектировании электрической машины необходимо учитывать радиальные нагрузки и специфику эксплуатации подшипников. При разработке сборочных чертежей, следует применять предложенный алгоритм расчёта подшипников (с выбором класса точности и радиальной нагрузки), что влияет на надёжность и долговечность электрических машин.

Библиографический список

1. ГОСТ 27.002-2015 Надёжность в технике (ССНТ). Термины и определения.
2. Шалабаев, М. К. Разработка рекомендаций по повышению эксплуатационной надёжности тяговых электрических машин / М. К. Шалабаев, Ж. С. Ибраев, Н. Р. Джакупов // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2017. – № 2(101). – С. 53-58. – EDN YTNSIR.
3. Методы проектирования малошумных электрических машин / В. А. Воронкин, В. Я. Геча, Э. А. Городецкий [и др.] // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2006. – Т. 103. – С. 6-171. – EDN KGXCZX.
4. Бережной, О. Л. Детали машин и основы конструирования / О. Л. Бережной, Г. Р. Варданян. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – 149 с. – ISBN 978-5-361-01041-7. – EDN QRPPOZ.
5. Бурков, А. Ф. Техническая эксплуатация электрических машин (электродвигателей) / А. Ф. Бурков, В. В. Миханошин, В. Н. Юрин // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : Материалы Седьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции, Петропавловск-Камчатский, 14–15 ноября 2024 года. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2025. – С. 24-29. – EDN RKJWIY.

6. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т: справочник / В. И. Анурьев; под редакцией И. Н. Жестковой. – 11-е изд., стереотип. – Москва: Машиностроение, 2021. – 2816 с.– ISBN 978-5-907104-86-0. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/193015> (дата обращения: 05.11.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

7. Мягков В.Д. Допуски и посадки. Справочник. Ч.2 – Ленинград: Машиностроение, 1983. – 446 с.

8. ГОСТ 520–2011. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ. ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

9. Фаюршин А.Ф. Метрология, стандартизация и сертификация. Практикум. – Уфа: БГАУ, 2018. – 130 с.

© Батыев А.Р., 2025

УДК 621.313.13

Д.С. БОРОДИН
dborodin54@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Р. ФАРРАХОВ

Уфимский университет науки и технологий

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ С АКСИАЛЬНЫМ МАГНИТНЫМ ПОТОКОМ. СФЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ И КОНСТРУКЦИИ

Аннотация: в данной статье рассматриваются электрические двигатели с аксиальным магнитным потоком, сферы применения, достоинства и недостатки его конструкций.

Ключевые слова: аксиальный электродвигатель; конструкции аксиальных электродвигателей; печатный статор.

Введение

Электрические двигатели хорошо закрепились в жизни людей, они находятся в каждой сфере, от электроприборов у каждого человека в доме до промышленных заводов, создающих сложные детали и устройства, сельского хозяйства, космонавтики, медицины и военной инфраструктуры. Рассматривая их, можно выделить две группы электродвигателей: радиальные и аксиальные.

Отличиями аксиального электродвигателя от радиального являются направление магнитного потока, у первого он направлен параллельно оси вращения, у второго радиально, а также вследствие конструктивной особенности у аксиальных двигателей статор и ротор одного диаметра, и они имеют более прямой и короткий путь потока от одного полюса к другому, чем у радиальных. Также в конструкции аксиальных может быть как два статора, так и два ротора.

Области применения аксиальных электродвигателей

Аксиальные электродвигатели имеют хорошую удельную мощность, за счет чего его применение будет полезно в сфере наземного, воздушного и водного транспорта, где уменьшение массы и габаритов компонентов имеют большой приоритет.

В авиационной отрасли уже есть случаи применения таких электродвигателей в качестве главного силового агрегата, что позволит полностью электрифицировать самолеты и приведет нас к электрическим самолетам как к чему-то обыденному (*рис. 1*).

Также достаточно мощные аксиальные двигатели уже давно используются для электромобилей, электробусов, троллейбусов. Внедрение таких машин в разные области транспорта может привести к уменьшению углеродного следа на планете.



Рис. 1. Применение аксиального электродвигателя в самолете

Использование в качестве силовых установок на судах, кораблях и подлодках аксиальных двигателей с полым, что позволит собрать их как модульную конструкцию.

Речь шла о двигателях, которые имеют достаточно большую мощность. Но еще аксиальные электродвигатели могут применяться в маломощных системах. Например, в робототехнике для прецизионных безредукторных приводов станков с числовым программным управлением (ЧПУ), опорно-поворотных устройств систем слежения, многокоординатных поворотных столов также они распространены в медицинском оборудовании.

Конструкции статора аксиальных электродвигателей

Конструкция статора может быть изготовлена из электротехнической стали или напечатан на печатной плате.

Первое исполнение статора состоит из пакета статора, состоящего из листов изолированной друг от друга электротехнической стали и уложенной в пазы пакета по определенному обмотки. Электротехническая сталь позволяет концентрировать и самое главное усиливать магнитный поток, что увеличивает характеристики двигателя, но у нее достаточно высокая цена и она имеет сложные технологические операции при обработке, что сильно увеличивает стоимость производства.

Исполнение на печатной плате выполнено из многослойной печатной платы из стеклотекстолита с отдельными слоями для каждой обмотки фазы, что снижает вероятность межфазного замыкания. Обмотка в виде плоских медных проводников на печатной плате. Одинаковый температурный коэффициент у меди и стеклотекстолита не дает при нагрузках отслаиваться металлу.

Двигатель со статором из печатной платы (*рис.2*) позволяет снизить вес и размеры электродвигателя по сравнению со статором из электротехнической стали, тем самым повысив удельную мощность машины, а также существенно снизив стоимость производства машины. Но эта конструкция статора имеет

проблемы с охлаждением и не может концентрировать и усиливать магнитный поток, что понижает эффективность магнитной системы.

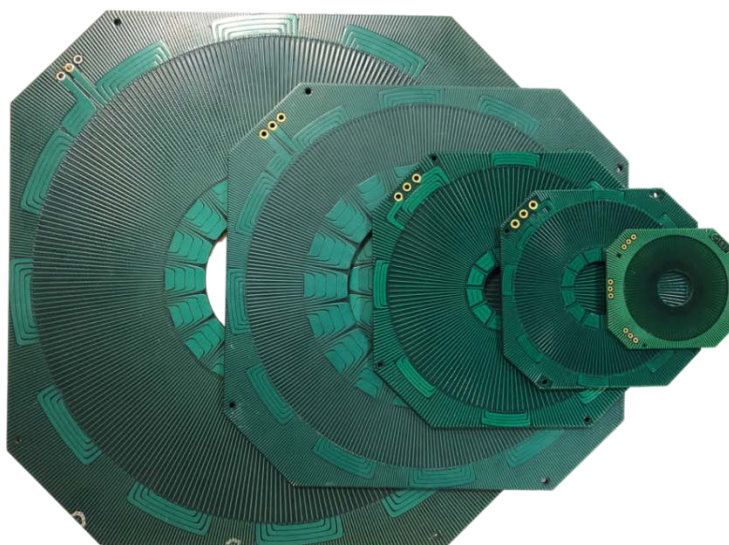


Рис. 2. Статор из печатной платы

Конструкции ротора аксиальных электродвигателей

Конструкция ротора обычно выполняется с постоянными магнитами и двигатель будет иметь синхронную скорость вращения, но магниты с хорошими свойствами дорогие.

Короткозамкнутый ротор будет дешевле чем с постоянными, но аксиальный электродвигатель в данном случае будет вращаться с асинхронной скоростью. Тогда его можно будет использовать там, где не обязательно точное регулирование скорости. Двигатель с таким ротором будет дешевле.

Конструкции аксиальных электродвигателей с несколькими статорами или роторами

Как говорилось ранее, аксиальные электродвигатели бывают в исполнении с двумя статорами и ротором или двумя роторами и статором (*рис.3*)

Конструкция с двумя статорами более распространена в системах с высокой мощностью, так как обладает высокой плотностью крутящего момента и удельной мощностью, но требует дополнительного магнитопровода с обратной стороны статора от ротора для лучшего замыкания магнитного потока, что увеличивает габариты и вес машины.

Конструкция с двумя роторами не нуждается в дополнительном магнитопроводе за счет чего масса и габариты машины будут меньше, чем у варианта с двумя статорами, но она и менее мощная.

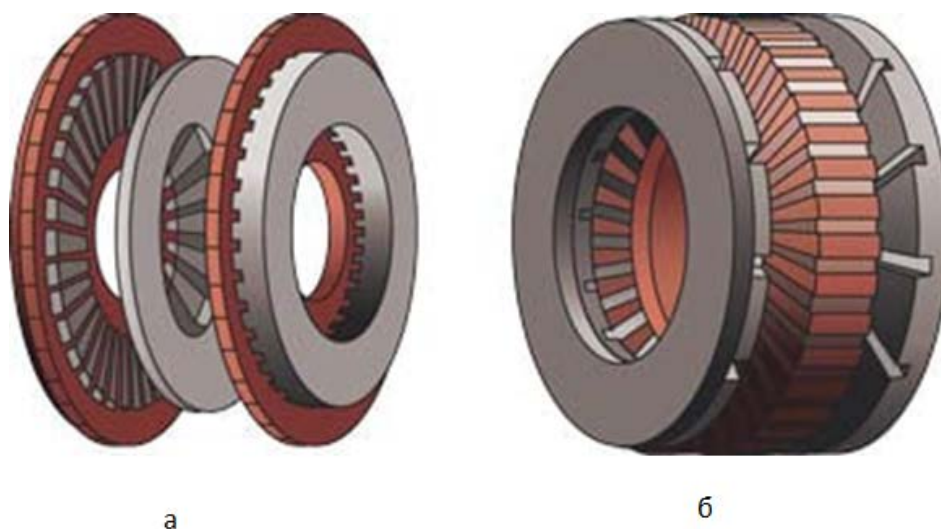


Рис. 3. Конструкции аксиальных электродвигателей с несколькими статорами или роторами:

- а – исполнение аксиального двигателя с двумя статорами и ротором;
б – исполнение аксиального двигателя с двумя роторами и статором

Заключение

В данной статье рассмотрели отличия аксиальных электродвигателей от радиальных, их применения в разных сферах. Были рассмотрены варианты конструкции его статора, ротора и варианты с несколькими роторами или статорами, а также их достоинства и недостатки.

Библиографический список

1. 'World's most power dense' electric motor obliterates the field // newatlas URL: <https://newatlas.com/automotive/yasa-axial-flux-world-record/> (дата обращения: 01.11.2025).
2. YASA Axial Flux Motor: Everything You Need to Know // lammotor URL: <https://lammotor.com/yasa-axial-flux-motor/> (дата обращения: 01.11.2025).
3. Ultra-light axial flux motor shatters unofficial world record with 1000bhp peak output // Interesting Engineering URL: <https://interestingengineering.com/innovation/yasa-axial-motor-density-record> (дата обращения: 01.11.2025).
4. Технология аксиального потока // Enmotor URL: <https://ru.enmotor.com/axial-flux-technology/> (дата обращения: 01.11.2025).
5. Применение двигателя с осевым потоком // pro tehnolodgi URL: <https://pro-tehnolodgi.ru/news/62> (дата обращения: 01.11.2025).
6. Принципы и преимущества двигателей с осевым потоком // Enmotor URL: <https://ru.enmotor.com/principles-and-advantages-of-axial-flux-motors/> (дата обращения: 01.11.2025).

© Бородин Д.С., 2025

Д.А. БОЧКОВ

Dmitry.bochckow@yandex.ru@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент. О.А. ЮШКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация: в данной статье рассмотрены примеры использования устройств в электроэнергетике России, в основе которых лежит принцип сверхпроводимости.

Ключевые слова: электроэнергетика, сверхпроводники, кабель, сверхпроводимость, реактор

Современные вызовы, стоящие перед отечественной электроэнергетикой: растущее энергопотребление в мегаполисах, необходимость модернизации изношенных сетевых активов и ужесточении требований к надежной работе энергосистем и экологической безопасности — диктуют необходимость поиска прорывных решений. В этом контексте технологии сверхпроводимости представляют собой наиболее перспективное направление для кардинального обновления энергосистем.

В настоящее время существуют, как минимум, два примера использования технологии сверхпроводимости в отечественной энергетике — высокотемпературные сверхпроводниковые токоограничивающие реакторы (ВТСП ТОУ) и высокотемпературные сверхпроводящие кабели.

Токоограничивающие устройства на основе ВТСП (ВТСП ТОУ) — устройства, служащие для повышения надежности электроснабжения, обеспечения устойчивости работы генерации, снижения токов короткого замыкания вблизи объекта установки этих токоограничивающих реакторов.

ВТСП ТОУ позволяют эффективно и в достаточно короткий промежуток времени ограничивать токи КЗ. Также эти устройства предназначены для защиты электроэнергетического оборудования и кабельных линий.

На сегодняшний день более 20 ВТСП ТОУ были успешно изготовлены, испытаны и введены в эксплуатацию в сети, при этом ВТСП ТОУ с самой высокой номинальной мощностью (1200 А, 220 кВ) установлен в Москве на ПС 220/20 кВ Мневники и находится в непрерывной эксплуатации с 2019 года.

ВТСП ТОУ хоть и является нетиповым инновационным устройством, всё же возможно изготовить устройство, соответствующее существующим отраслевым стандартам на токоограничивающие реакторы (как ближайший аналог), что позволяет подходить к проектированию установки этого оборудования как к типовым энергообъектам.

Устройство ВТСП ТОУ состоит из трёх наружных однофазных аппаратов с разомкнутым контуром (далее именуемых «фазами»), и системы охлаждения, которая размещается в отдельном здании размером 7х14х10 м³ (рис. 1).

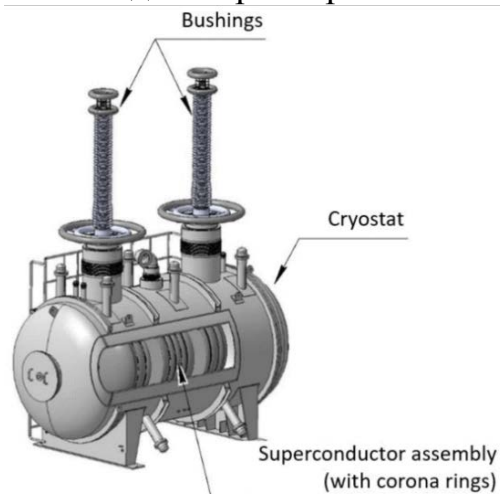


Рис. 1. Конструкция ВТСП ТОУ

Каждая фаза устройства включает в себя три основных компонента: криостат, который обеспечивает поддержание рабочей температуры для сохранения свойств сверхпроводника, высоковольтных вводов и сверхпроводящего узла (рис. 2). Этот узел состоит из набора токоограничивающих модулей в сочетании с высоковольтными экранами (коронирующими кольцами). Кольца помогают равномерно распределять электрическое поле внутри устройства для предотвращения пробоев и коронных разрядов в устройстве. В сверхпроводящей сборке используется высокотемпературный сверхпроводящий провод второго поколения (2G HTS Wire), который выполняет функцию переключающего резистора.

Провод 2G HTS представляет собой проводник, обладающий сверхпроводимостью при высоких температурах, что позволяет снизить требования. В этих проводах используются сверхпроводники на базе редкоземельного металла (например, соединение с гадолинием: GdBCO).

Современное развитие электроэнергетики связано с внедрением инновационных решений, среди которых особое место занимают кабельные линии, работающие на принципе сверхпроводимости. Данная технология применяется как сетей переменного и постоянного тока, причем каждая из систем находит свою оптимальную нишу использования. В настоящее время именно ВТСП-кабели демонстрируют наибольшую технологическую зрелость в номенклатуре сверхпроводниковых устройств. Это подтверждается как рекордными показателями мощности, достигнутыми в экспериментальных образцах (диапазон от 10 до 1400 МВА), так и разнообразием реализованных конструкций и эксплуатационных характеристик. Благодаря значительным преимуществам таких систем, масштабные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы активно ведутся в ведущих энергетических державах, включая США, страны Европы, Южную Корею, Японию, Китай и Россию.

Конкретным примером применения данной технологии является проект линии постоянного тока мощностью 50 МВт, предназначенной для соединения двух подстанций в Санкт-Петербурге: ПС 330 кВ «Центральная» и ПС 220 кВ «РП-9». Анализ показал, что традиционные методы резервирования электроснабжения – например, строительство кабельной или воздушной линии переменного тока – в данном случае неприемлемы. Их ввод создаёт дополнительную нагрузку на послеаварийные режимы, приводя к недопустимым токовым перегрузкам в соседних сетях. Решением данной проблемы стала установка управляемой ВТСП-линии постоянного тока. Её ключевое преимущество - возможность реверсивного управления потоками мощности, благодаря чему возрастает надежная работа передачи электроэнергии без риска возникновения аварийных режимов и роста токов КЗ.

За основу была принята монополярная конструкция, объединяющая прямой и обратный проводники в общем кабеле (см. рис. 2). Кабель имеет многослойную структуру, состоящую из различных компонентов. Формообразующий элемент обеспечивает защиту от механических повреждений и защиту прямого проводника от перегрева в аварийных ситуациях. Прямой сверхпроводящий проводник сформирован из 22 ВТСП-лент с критическим током 160 А, уложенных в два слоя. Высоковольтная изоляция рассчитана на номинальное рабочее напряжение. Обратная проводящая часть состоит из 19 лент с критическим током 180 А, размещенных в одном слое. Конструкция также включает в себя внешний стабилизатор, экранирующую изоляцию и обычный (несверхпроводящий) экран. Вся система помещена в криостат, представляющий собой две гофрированные трубы с вакуумной теплоизоляцией между ними и внешней защитной оболочкой из сшитого полиэтилена.

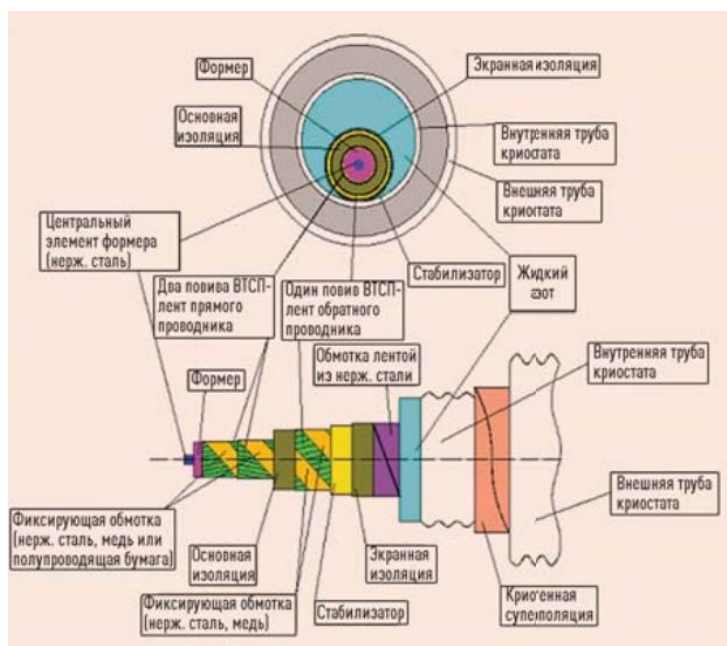


Рис. 2. Конструкция сверхпроводящего кабеля

Высокая критическая плотность тока сверхпроводника позволила интегрировать оба проводника в единую конструкцию, что обеспечило

локализацию магнитного поля внутри сечения кабеля. Благодаря этому, а также использованию в качестве диэлектрика и хладагента жидкого азота, кабель не создает электромагнитных и тепловых полей рассеяния. Такие свойства делают его дружелюбным к экологии окружающей среды и существенно снижает ограничения по условиям прокладки трассы.

Библиографический список

1. Mikhail Moyzykh, Daria Gorbunova, Petr Ustyuzhanin, Dmitry Sotnikov, Kirill Baburin, Alexander Maklakov «First Russian 220 kV Superconducting Fault Current Limiter (SFCL)» For Application in City Grid: IEEE Transactions on Applied Superconductivity – IEEE 05.08.2021
2. Применение высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) в объектах энергетики, Магомедова Э.Ш., Коломенцева Д.А., Мойzych М.Е. – сборник трудов конференции «Энергетика будущего» / [Электронный ресурс] // <https://elibrary.ru/item.asp?id=75177274>
3. СВЕРХПРОВОДЯЩИЕ КАБЕЛИ. ПРОЕКТ ВТСП КЛ ПО СОЕДИНЕНИЮ ПС 330 КВ ЦЕНТРАЛЬНАЯ И ПС 220 КВ РП-9 В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ – «Энергия единой сети» №3 (32) июнь-июль 2017

© Бочков Д.А., 2025

УДК 621.3.05

М.Е. БУКРЕЕВ

maks.bukreev03@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Р.К. ФАТТАХОВ

Уфимский университет науки и технологий

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМОВ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ RASTRWIN3

Аннотация: в статье рассматривается один из способов автоматизации выполнения расчетов параметров электрической сети в установившихся режимах электроэнергетических систем с использованием программного комплекса RastrWin3. Описывается разработанный макрос, который позволяет проводить расчеты выбранных параметров с использованием противоаварийной автоматики. Проанализированы преимущества и недостатки предложенного способа расчетов.

Ключевые слова: Автоматизация расчетов параметров электрической сети, установившийся режим, противоаварийная автоматика, RastrWin3.

Современная электроэнергетика характеризуется высокой динамичностью установившихся режимов работы энергосистем, обусловленной постоянным изменением конфигурации сети, реконфигурацией оборудования и вводом новых нагрузок. Проведение анализа таких режимов требует выполнения значительного числа расчётов, что при ручном подходе сопряжено с большими временными затратами и повышенной вероятностью ошибок. В этих условиях автоматизация расчётов параметров установившихся режимов становится одним из приоритетных направлений цифровизации электроэнергетики. В практике российских энергокомпаний для решения подобных задач широко применяется программный комплекс RastrWin3.

RastrWin3 предназначен для решения задач по анализу установившихся и переходных режимов электроэнергетических систем и позволяет проводить расчет параметров электрических сетей, моделировать аварийные ситуации, определять устойчивость режимов и оптимизировать потокораспределение [1]. Одной из важных особенностей программного комплекса является то, что большинство длительных операций могут быть автоматизированы с помощью макросов, написанных на языке Visual Basic, который используется в RastrWin3 для написания пользовательских макросов и позволяет выполнять последовательность расчетов, изменять параметры и конфигурацию сети и обрабатывать результаты автоматически.

Разработанный скрипт автором данной статьи в результате работ, проведенных в Филиале АО «СО ЕЭС» Башкирское РДУ Службе электрических режимов, предназначен для автоматизации расчета установившихся режимов по заданным параметрам и анализа результатов в более удобном формате, чем расчет, предоставляемый программным комплексом. Скрипт реализован на основе Visual Basic и встроен в рабочую среду RastrWin3 в виде макроса. Основная функция скрипта заключается в последовательном выполнении расчетов для различных режимов, которые необходимо рассмотреть, и автоматическом формировании отчетных данных заданных параметров в формате Microsoft Excel. На рисунке 1 показан алгоритм работы данного макроса.

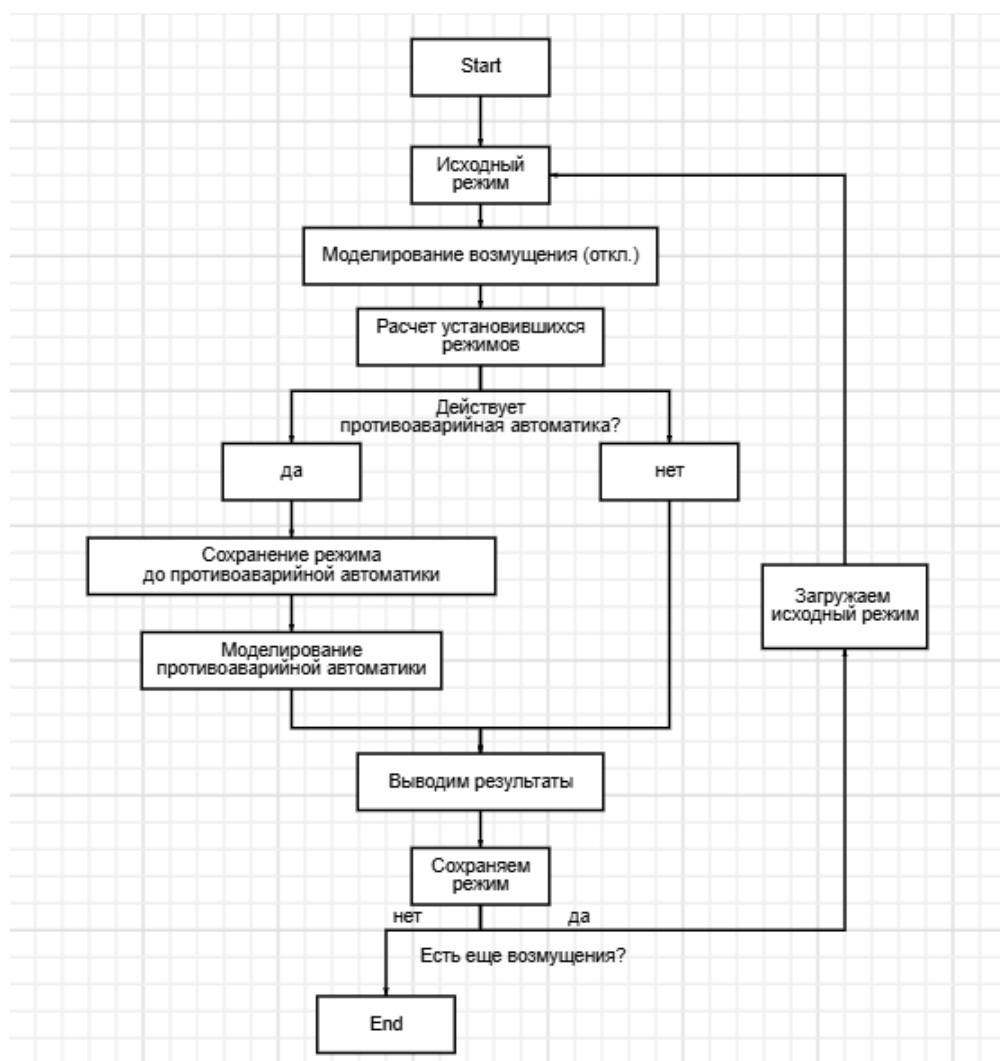


Рис. 1. Алгоритм работы макроса

Пользователь может указать перечень параметров, которые необходимо рассчитать – напряжение на шинах распределительных устройств, токи по линиям электропередачи, потери активной и реактивной мощности, максимально допустимые перетоки активной мощности, возникновение аварийных ситуаций энергосистемы. После запуска макроса производится расчет каждого заданного режима и запись соответствующих параметров в

табличный файл. Это позволяет получить необходимую информацию для анализа интересующих установившихся режимов энергосистемы и быстрой подготовки отчетов.

В основе разработанного макроса лежит учёт реальной противоаварийной автоматики, установленной на конкретном участке энергосистемы, что позволяет применять полное описание автоматики: какие устройства задействованы и по какой логике они работают. Эта информация хранится во внешнем файле Excel, который подгружается в процессе работы макроса и применяет их к заданным расчетам установившихся режимов энергосистемы. Благодаря тому, что учитывается срабатывание противоаварийной автоматики, изменение конфигурации сети и параметры электрической сети в процессе расчетов, макрос реагирует на возмущения и получает более реальную модель. На рисунке 2 показан пример данных, которые используются для учета противоаварийной автоматики.

состояние	t сраб.	Контролирует данный элемент					направление P		Разгрузка генератора				изменение топологии				
		вкл/откл	сек	наименование	Ннач	Нкон	№ пар	уставка	0,1, 2	№ ген	P	скорость разгрузки	наименование	Ннач	Нкон	№ пар	сост
0	15	Линия 1		123	321	0		381	0	4	25	1					
0	15	Линия 2		124	421	0		444	0	5	25	1					
0	15	Линия 3		125	521	1		555	0	6	50	2,4					
0	78	Линия 3		125	521	1		666	0	1	0	100					
1	80	Линия 4		123	321	0		345	0				Линия 4	123	321	0	1

Рис. 2. Пример внешних данных противоаварийной автоматики

Учет функций противоаварийной автоматики при расчете установившихся режимов позволяет существенно повысить соответствие модели реальным условиям эксплуатации электроэнергетической системы. Это не только улучшает достоверность получаемых результатов, но и расширяет возможности анализа, с учётом логики работы автоматики становится возможным оценивать устойчивость режимов, анализировать резервы пропускной способности и имитировать реакцию системы на аварийные возмущения.

К основным преимуществам внедрения автоматизированного расчета параметров режима в программном комплексе RastrWin3 можно отнести:

- 1) значительное сокращение времени, необходимого как для выполнения расчетов, так и для освоения функциональных возможностей программного комплекса RastrWin3;
- 2) исключение ошибок, связанных с ручным вводом данных;
- 3) возможность массовой обработки заданных возмущений для режимов энергосистемы;
- 4) использование внешних баз данных, в которых заданы нужные для анализа параметры электрической сети;
- 5) учет работы противоаварийной автоматики при расчете установившихся режимов.

Следует отметить, что основными недостатками являются необходимость поддержания актуальности базы данных противоаварийной автоматики, возможные проблемы при переносе макроса в новые версии программного

комплекса, а также для работы в программном комплексе требуется приобретение лицензионного ключа.

Для специалистов, которые ежедневно работают с программным комплексом RastrWin3 решение автоматизации расчетов параметров установившихся режимов при помощи создания и использования персонального макроса, который позволяет учитывать противоаварийную автоматику через внешние данные, позволяет существенно ускорить процесс, увеличить точность анализа режимов, снизить вероятности ошибок и оптимизировать процессы управления энергосистемой.

Библиографический список

1. Документация по программному комплексу RastrWin3. – ООО «Растр», 2023. – 98 с.

© Букреев М.Е., 2025

А.А. МИРГАЛИЕВ

mirgaliev.ai@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Р. ФАРРАХОВ

Уфимский университет науки и технологий

ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ СТАТОРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАШИН. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Аннотация: в этой статье рассматриваются конструкции статоров трехфазных электрических машин с постоянными магнитами, их достоинства и недостатки. Приведено сравнение пазовых и беспазовых конструкций статора.

Ключевые слова: статор, постоянные магниты, высокоскоростная машина

С развитием современной промышленности появилась потребность в развитии электрических двигателей с высокой удельной мощностью на массу. Одним из способов повышения данной характеристики является увеличение номинальных оборотов двигателя. Такие двигатели имеют много преимуществ по сравнению со среднескоростными машинами, такие как высокая удельная мощность, малый размер, низкий вес, а также возможно подключения напрямую к высок оборотистым нагрузкам, что позволяет не использовать редуктор.

Не существует какой-то конкретной скорости, из-за которой машину можно отнести к высокоскоростной, однако принято ориентироваться на значение об/мин·√кВт, которое превышает 1×10^5 [1, 2, 3].

В качестве трёхфазных электрических машин с постоянными магнитами используются двигатели типа бесщёточный двигатель постоянного тока (БДПТ), однако такие двигатели из-за формы противо-ЭДС имеют пульсации. Помимо БДПТ рекомендуется использовать синхронные машины с постоянными магнитами (СМПМ), из-за их более высокого коэффициента мощности и более высокой удельной мощности [3].

Выделим основные отличия высокоскоростных двигателей от обычных:

Частота тока достигает нескольких тысяч герц, поэтому потери в стали, на вихревые токи, перемагничивание больше, чем у обычных двигателей.

Из-за высокой скорости потери на трение и вихревые токи намного выше в роторе, поэтому самая горячая область смещается со статора на ротор

Конструкции статора можно разделить пазовые, беспазовые, с фиктивными пазами. Из-за высокой скорости, частота тока, в применяемых двигателях, достигает больших значений, поэтому для снижения потерь на стали вихревых тока используются небольшое кол-во пазов и особое внимание к выбору материала стали.

Многопазовые конструкции статоров обычно используются в машинах с большой мощностью: в авиационные турбогенераторы, электромобили, системы

электротурбонадува, центробежных турбокомпрессоров. Такая конструкция статора позволяет снизить крутящий момент и ослабить гармоническую плотность потока в воздушном зазоре

В маломощных и легких машинах используются малопазовые конструкции статоров, т.к. это позволяет снизить потери, упростить процесс намотки и избежать конструктивных ограничений. В основном применяются следующие комбинации числа пазов статоров и полюсов ротора: 6/4, 6/2, 3/2.

Для маломощных и компактных высокоскоростных синхронных машин используется 2-полюсный ротор. Это приводит уменьшению потерь в железе и коммутационных потерь в преобразователе. Однако такие конструкции имеют собственный уровень ЭДС из-за диаметрально асимметричной конструкции статора. В работе [4] предлагается установить дополнительные выемки в середине каждого паза для снижения потерь холостого хода и под нагрузкой, однако такое снижение потерь сильно зависит от условий нагрузки.

Беспазовые конструкции статора имеют более равномерное распределение магнитной индукции, более низкий уровень гармоник и лучшую способность к перегрузке. Но магнитная индукция и крутящий момент ниже, чем у пазовых аналогов [5]. Для мощных и крупногабаритных высокоскоростных машин, где критическая скорость ограничена механической прочностью ротора требуется относительно большой крутящий момент, поэтому для таких целей беспазовые статора обычно не используются. Поэтому такие конструкции в основном применяются для маломощных и компактных машин, где критическая скорость выше и крутящий момент относительно не большой [6].

В таблице 1 представлены достоинства и недостатки пазовый и беспазовых конструкций статора.

Таблица 1

Преимущества и недостатки пазовых и беспазовых конструкций статора

	Пазовый	Беспазовый
Достоинства	Высокая уровень магнитной индукции Высокий коэффициент теплопередачи при принудительном охлаждении Малая длина активной части статора	Простота конструкции Равномерное распределение воздушного зазора Низкие потери на вихревые токи Низкая вибрация и шум Низкое потери на трение с воздухом. Низкий уровень вибрации и шума
Недостатки	Большие потери на вихревые токи Возможность размагничивания постоянных магнитов В некоторых сочетаниях числа полюсов и пазов статора возможно возникновение не уравновешенной магнитной силы	Низкий выходной крутящий момент Большие потери в меди Плохая теплопередача

В этой статье рассмотрены различные конструкции статоров трёхфазных электрических машин с постоянными магнитами для высокоскоростных областей применения. В большинстве задач подходят пазовые конструкции статора, особенно где требуется высокий крутящий момент. В приложениях, где требуются микродвигатели на сверхбыстрые скорости, используется беспазовая конструкция статора.

Библиографический список

1. Mallin L. R., Barrans S. M. A review of the high-speed permanent magnet rotor stress analysis used for automotive air-handling machines //European Journal of Engineering and Technology Research. – 2020. – Т. 5. – №. 4. – С. 448-456.
2. Du G. et al. Comprehensive sensitivity analysis and multiphysics optimization of the rotor for a high speed permanent magnet machine //IEEE Transactions on Energy Conversion. – 2020. – Т. 36. – №. 1. – С. 358-367.
3. He T. et al. Permanent magnet machines for high-speed applications //World Electric Vehicle Journal. – 2022. – Т. 13. – №. 1. – С. 18.
4. Ma J., Zhu Z. Q. Magnet eddy current loss reduction in permanent magnet machines //IEEE Transactions on Industry Applications. – 2018. – Т. 55. – №. 2. – С. 1309-1320.
5. Zhao J. et al. Comparative studies on performances of slotted and slotless high-speed pmbldc motors //IEEE Access. – 2024. – Т. 12. – С. 13431-13441.
6. Gilson A. et al. Design of a high-speed permanent-magnet machine for electrically-assisted turbocharger applications with reduced noise emissions //2017 IEEE International Electric Machines and Drives Conference (IEMDC). – IEEE, 2017. – С. 1-6.

© Миргалиев А.А., 2025

И.Э. ЕНИКЕЕВ

Ildar.enikeev00@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Т.Р. ТЕРЕГУЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ГРАЖДАНСКИХ САМОЛЕТОВ: ВИДЫ, ПРИНЦИП РАБОТЫ, ЗАРУБЕЖНЫЕ АНАЛОГИ

Аннотация: в данной статье рассмотрены основные виды генераторов, используемых на гражданских самолетах, подробно рассмотрено устройство мультипликатора, приведены характеристики синхронных генераторов, а также произведено сравнение с зарубежными аналогами.

Ключевые слова: воздушный генератор, аварийный генератор, режим работы, интегрированный привод генератор, вспомогательная силовая установка, мультипликатор.

В современном мире авиация развивается большими шагами, гражданские самолеты представляют собой сложные технические комплексы, которые способны работать в тяжелых условиях. С появлением новых типов самолетов появляются и новые типы генераторов, рассмотрим основные виды генераторов, использующихся на борту современного гражданского самолета.

В большинстве гражданских самолетов существуют два независимых друг от друга канала генерирования переменного тока – это правый борт и левый борт самолета. На каждом из бортов расположены 2 основных генератора, которые питают практически все потребители воздушного судна. Данные генераторы приводятся во вращение благодаря валу турбины высокого давления, но возникает проблема: это непостоянство оборотов реактивного двигателя. Решением данной проблемы является установка специального механизма непосредственно в сам генератор, который поддерживает постоянные 12000 об/мин на роторе генератора вне зависимости от входной частоты вращения приводного вала авиационного двигателя. Данный механизм называется мультипликатор.

Мультипликатор или же ускоряющий редуктор в авиационном генераторе – это механическое устройство, которое способно увеличивать частоту оборотов выходного вала, в то же время снижая крутящий момент. В мультипликаторах используются разные типы механических передач, включая одно- и многоступенчатые конструкции. Они могут быть:

- зубчатыми, с прямыми или косыми зубьями (цилиндрические, конические, реечные);
- винтовыми, например червячные и гипоидные;
- гибкими, с использованием ремней и цепей;

– фрикционными, работающими за счёт трения. Некоторые устройства сочетают несколько типов передач и образуют комбинированные решения.

Мультипликатор работает по принципу, противоположному обычному редуктору: его передаточное число меньше единицы. Например, один оборот входного вала приводит в движение выходной вал, который делает несколько оборотов. Это позволяет:

- обеспечить высокую скорость вращения на выходном валу, когда скорость вращения двигателя недостаточна для выполнения конкретной задачи;
- быстро изменять частоту вращения выходного вала, что важно для работы генератора в переходных режимах, связанных с резкими изменениями оборотов приводного двигателя.

В авиационных генераторах используются механические мультипликаторы, например, в конструкции стартер-генератора газотурбинного двигателя, где мультипликатор встроен в ротор, на внутренней поверхности которого выполнены шлицы для соединения с приводным валом двигателя, это и реализовано в интегральном привод генераторе ИПГ-40.

На борту самолета также расположен генератор вспомогательной силовой установки (ГВСУ). Вспомогательная силовая установка – это небольшой газотурбинный двигатель, расположенный в хвостовой части самолета. В случае отказа одного из основных генераторов ГВСУ может использоваться в качестве основного генератора. Так же ГВСУ используется для запитывания самолета на земле при выключенных двигателях.

В случае отказа двух основных генераторов, а также выхода из строя генератора вспомогательной силовой установки на борту самолета предусмотрена аварийная система генерирования переменного тока. Турбина, выпускаемая вручную или автоматически, расположена в нижней части самолета. При выпущенном состоянии набегающий поток воздуха приводит во вращение данную турбину. На одном валу с турбиной расположен аварийный генератор, который вырабатывает постоянные 115 В и 400Гц переменного тока и запитывает жизненно важные потребители, которые обеспечивают безопасность в полете и при посадке воздушного судна.

Номинальная мощность генераторов может варьироваться от 10 до 100 кВА и выше в зависимости от типа самолета.

Рассмотрим генераторы переменного тока российского импортозамещенного самолета SSJ-NEW, который активно проходит сертификационные испытания. На нем расположены два основных генератора: ИПГ-40, интегральный привод генератор мощностью 40 кВА, работающие от газотурбинного двигателя ПД-8. Генератором вспомогательной силовой установки является ГСР-30/40НЖЧ12, основные характеристики генераторов ИПГ-40 и ГСР-30/40НЖЧ12 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Вид генератора	ИПГ-40	ГСР-30/40НЖЧ12
Мощность, кВА	40	40
Номинальное напряжение, В	115/200	115/200
Номинальная частота, Гц	400	400
Номинальная частота вращения, об/мин	12000	12000
Коэффициент мощности	0,8-1,0	0,8-1,0
Диапазон входных частот вращения	от 4618 до 8438 об/мин.	Не предусмотрено
Тип охлаждения	Масляное	Масляное
Длительность обеспечения нагрузки	-до 40 кВА длительно в течение всего ресурса; -до 45 кВА в течение 5 мин, по 2 раза на каждые 100 часов ресурса; -до 60 кВА до 5 с, по 2 раза на каждые 500 часов ресурса.	-до 40 кВА длительно в течение всего ресурса; -до 45 кВА в течение 5 мин, по 2 раза на каждые 100 часов ресурса; -до 60 кВА до 5 с, по 2 раза на каждые 500 часов ресурса

В качестве сравнения рассмотрим американский самолет Boeing 737 Original источниками электроэнергии данного гражданского самолета являются два синхронных генератора переменного тока IDG (Integrated Drive Generator) расположенных соответственно на правом и левом борту, которые приводятся во вращение двигателем JT8D. На этих генераторах установлена система с приводом постоянных оборотов, которая поддерживает постоянные 12000 об/мин. По аналогии с отечественным самолетом SSJ-NEW на Boeing 737 Original присутствует генератор вспомогательной силовой установки мощностью 40 кВА, расположенный в задней части самолета.

Таким образом, гражданская авиация не стоит на месте, развитие авиационных генераторных систем будет продолжать идти по пути повышения мощности, эффективности и интеллектуализации управления, что соответствует общемировым тенденциям в области авиационной электротехники.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 54812-2011. Системы электроснабжения воздушных судов. Общие технические требования. – Введ. 2012-07-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 24 с.
2. Смирнов А.В., Козлов И.П. Авиационные электрические системы: учебное пособие. – М.: МАИ, 2020.

3. Петров С.С. Перспективы развития генераторных установок для гражданской авиации // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2023. – Т. 22, № 3. – С. 78-85.
4. Boeing 787 Electrical Power System Description. – Seattle: Boeing Commercial Airplanes, 2022. – 156 p.
5. Airbus A350 XWB Electrical Generation System. Technical Manual. – Toulouse: Airbus SAS, 2023. – 89 p.
6. Johnson D., Miller R. More Electric Aircraft: Power Generation Challenges and Solutions // IEEE Transactions on Transportation Electrification. – 2024. – Vol. 10, № 2. – P. 145-162.
7. Мультипликатор в автомобиле: что такое и для чего нужен (2025). (<https://forsunkipro.ru/company/articles/multiplikator-v-avtomobile/>)
8. Минобрнауки (2025) *Система электроснабжения самолета SJ-100 (SSJ-NEW)* (https://minobrnauki.gov.ru/colleges_councils/kollegialnyeorgany/prize_science/public_science/files2024/P24-15.pdf)

© Еникеев И.Э., 2025

П.А. ВАСИЛЬЕВ

pashavasilev.2003@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Т.Р. ТЕРЕГУЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ АВИАЦИОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ НА БОРТУ РОССИЙСКОГО ГРАЖДАНСКОГО САМОЛЕТА

Аннотация: в данной статье кратко рассмотрены основные способы охлаждения отечественных авиационных генераторов, используемых на гражданских самолетах, в дополнение к способу регулирования их возбуждения на примере авиационного генератора ГСР-30/40НЖЧ12.

Ключевые слова: авиационный генератор, синхронная машина, возбуждение, регулирование, режим работы, электроэнергия, регулятор.

В настоящее время Российская авиация развивается с максимально возможным темпом. На примере самолетов Sukhoi Superjet 100 и MC-21 можно увидеть стремление к возрождению отечественного гражданского авиапрома взамен устаревшей импортной авиационной техники, например, такой как Boeing-737 и Airbus A320. Проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по формированию окончательного облика самолетов и совершенствованию его систем. Для питания систем управления полётом, безопасности людей, бесперебойной навигацией и коммуникацией необходимо наличие типов генераторов, удовлетворяющих современным квалификационным требованиям. В связи с этим интересно рассмотреть управление генератором на борту самолета, как основным источником питания всех потребителей.

Эффективность работы электрической синхронной машины во многом зависит от отвода тепла с ее токоведущих частей, а на выбор способа охлаждения электрической машины влияет мощность самой машины, высота и скорость полета воздушного судна. С увеличением высоты полета воздух становится менее плотным, что ухудшает охлаждение генератора, если оно осуществлено посредством встречно нагнетаемого потока воздуха. Также воздушное охлаждение нежелательно и при увеличении скорости полета, так как встречный поток воздуха нагревается в вентиляционной системе генератора. Все это устанавливает определенные ограничения для использования воздушного типа охлаждения применительно к основным источникам питания самолета. Жидкостное охлаждение более универсально по причине его непрерывного поддержания стабильного температурного режима для синхронной машины средней и большой мощности.

На гражданском самолете всего 4 генератора, а именно, 2 основных попарно-параллельно работающих генератора (левый и правый борт), генератор вспомогательной силовой установки, располагающийся в хвосте самолета и аварийный турбовинтовой генератор, находящийся в области носовой части самолета. В зависимости от режима полета генераторы на самолете работают в разных режимах, так как меняется нагрузка потребителей, то есть количество приборов и устройств. Стабильность выходного напряжения генератора и устойчивость в переходных режимах, а именно при амплитудно- и фазо-частотных колебаниях при резких изменениях нагрузки, замыканиях и обрывах фаз во многом зависят от системы возбуждения генератора. Поэтому в зависимости от величины нагрузки на генераторе необходимо регулирование тока в обмотке якоря генератора. На борту самолета это осуществляется автоматически, а именно цифровым интеллектуальным блоком управления генератором на основе программируемых интегральных схем.

Регулирование возбуждения — это основной инструмент поддержания требуемого значения напряжения, компенсации реактивной нагрузки, стабилизации частоты (в паре с приводом) и защиты генератора. Существуют такие устройства, как регулятор напряжения и регулятор возбуждения. Регулятор напряжения необходим для поддержания переменного напряжения генератора самолета на уровне 115В с частотой 400 Гц. Регулятор напряжения поддерживает требуемый для потребителей уровень напряжения путем воздействия на величину тока возбуждения. Но также, бывает необходимость в повышении уровня реагирования защитных устройств, таких как реле, где точность реагирования имеет значение, в связи с этим функционал регулятора дополняется и носит название регулятора возбуждения генератора. Рассмотрим в качестве примера генератор синхронный регулируемый мощностью 30 кВА с выведенной нейтралью с жидкостным охлаждением ГСР-30/40НЖЧ12 с самолета SSJ-100, работающим с блоком регулирования напряжения, управления и защиты синхронного генератора в составе основного/вспомогательного канала генерирования БРЗУ-115АМ/БКНА. Блок возбуждения генератора имеет общую концепцию на гражданских самолетах в части обеспечения контролируемой работы и выдаваемой мощности генератора, а именно отключение генератора при его перегреве, защита от всех видов коротких замыканий в генераторе и его фидере, от повышения напряжения любой из фаз с рассчитанной допустимой выдержкой по времени, от снижения установленного напряжения или частоты за границы приемлемого диапазона, от неправильного порядка чередования фаз, а в случае генератора ИПГ-40 с самолета SSJ-100 предусмотрена защита от снижения давления масла в контуре его охлаждения. Блок регулирования возбуждения входят следующие узлы: регулятор напряжения; блок защит, встроенного контроля и непрерывной диагностики; блок выдачи сигналов в КИСС.

Рассмотрим структурную схему любого регулятора напряжения в более подробном виде. В него обычно обычно входят в том или ином виде: измерительный орган (ИО), усилитель (У), исполнительный орган (ИСП) и

устройство обратной связи (ОС). Измерительный орган создает сигнал ΔU , который пропорционален отклонению контролируемого напряжения U от заданного опорного значения $U_{\text{зад}}$. После усиления этот сигнал поступает на исполнительный механизм, регулирующий ток возбуждения I_b в обмотке ротора генератора, что приводит к установлению выходного напряжения генератора на номинальный уровень (при этом статической погрешностью регулирования пренебрегают). Регулятор напряжения является одним из ключевых звеньев системы электроснабжения и во многом определяет её характеристики – качество электрической энергии, надёжность и т.д. Как правило, он работает в импульсном (ключевом) режиме, при котором потери в полупроводниковых элементах минимальны, а в цепи возбуждения возможно обеспечение значительных мощностей с высоким КПД. Кроме того, при таком режиме полупроводниковые приборы менее чувствительны к разбросу параметров и колебаниям температуры окружающей среды. На современных воздушных судах широко применяются полупроводниковые регуляторы напряжения, например БРН120Т5А, РНТ115ВО и им подобные. Функциональная схема серийного регулятора БРН120Т5А включает измерительный орган напряжения (ИО), фазосдвигающее устройство (ФСУ), формирователи импульсов (ФИ), усилитель мощности (УМ), измеритель реактивной мощности генератора (ИРМ) и звено гибкой отрицательной обратной связи (ГОС). Для обеспечения автономности работы все компоненты регулятора получают питание от подвозбудителя генератора (ИВ). Напряжение на обмотку возбуждения $U_{\text{в}}$ возбудителя генератора подается импульсами постоянной амплитуды, но с переменной скважностью (длительностью импульса). Требуемая точность стабилизации в таких регуляторах достигается подбором коэффициента усиления, однако повышение точности сопровождается снижением запаса устойчивости системы. С точки зрения быстродействия и точности эти регуляторы уже близки к пределам, достижимым при внедрении принципа контроля отклонений.

Для дальнейшего повышения качества регулирования необходимо перейти на другие принципы управления и новые схемотехнические решения. В связи с этим активно внедряются системы электроснабжения с цифровыми вычислительными устройствами в цепях управления и защиты, что значительно повышает качество электрической энергии и надёжность системы, как это реализовано в озвученном выше блоке управления генератором БРЗУ-115БКНА для генератора типа ГСР. Использование цифровых методов позволяет реализовать оптимальные законы управления генераторами, которые из-за нелинейности и сложности невозможны в последовательных регуляторах, а также сократить время переходных процессов при переключении нагрузки и практически исключить превышение напряжения в широком диапазоне режимов. Для совершенствования систем управления предлагается использовать специализированные бортовые цифровые вычислительные машины. Например такой, как автоматический регулятор напряжения синхронного генератора с блоком цифровой коррекции. В этом случае корректор выполнен в виде

специализированной бортовой цифровой вычислительной машины, предназначенной для мониторинга текущего состояния и регулировки напряжения канала генератора путем изменения настроек основного регулятора. Данная модель обеспечивает более высокую производительность и точность в статических режимах, снижение амплитуд переходных напряжений и повышение надежности за счет введения дополнительного (параллельного) канала.

В заключении хотелось бы отметить, что современные гражданские Российские самолеты на примере SSJ-100 показывают активный темп развития и достойный уровень достигнутых результатов в части электроснабжения, что не только не уступает по качеству электроэнергии на борту самолета, но в некоторых моментах даже превосходят свои аналоги на импортной технике по критерию минимальных потерь мощности электрической энергии в соответствии с ГОСТ Р 54073-2017.

Библиографический список

1. Система электроснабжения самолета SSJ-100 / [Электронный ресурс] // Минобрнауки: [сайт]. – URL: https://m.minobrnauki.gov.ru/colleges_councils/kollegialnye-organy/prize_science/public_science/files2024/P24-15.pdf (дата обращения: 10.11.2025).
2. Роль и место регуляторов напряжения в электроэнергетическом комплексе воздушных судов / [Электронный ресурс] // Изобретатель-международный научно-технический журнал: [сайт]. – URL: <https://izobretatel.by/nauchnye-publikacii/rol-i-mesto-regulatorov-napriazheniya/> (дата обращения: 10.11.2025).
3. Основные сведения об электрооборудовании на ВС // Инфоурок URL: <https://infourok.ru/konspekt-na-temu-sistema-elektrosnabzheniya-samoleta-2774757.html?ysclid=mhrptqhqt3908754175/> (дата обращения: 10.11.2025).

© Васильев П.А., 2025

КОМПАКТНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Аннотация: в статье рассмотрены компактные воздушные линии электропередачи. Приводятся конструктивные особенности компактных линий, включающие использование специальных изоляторов и проводников повышенной прочности. Основное внимание уделено преимуществам КЛЭП перед традиционными линиями, таким как уменьшение занимаемой площади, снижение потерь электроэнергии и повышение надежности электроснабжения. Статья также включает рекомендации по применению КЛЭП в условиях плотной городской застройки и сложных климатических условий.

Ключевые слова: изоляторы нового поколения, компактные линии электропередачи, новые композитные материалы.

Сейчас для передачи электроэнергии часто используют компактные воздушные линии (КЛЭП). В них провода расположены близко друг к другу, но при этом соблюдаются все нормы безопасности. Важно, чтобы провода не сближались из-за ветра или гололёда. Нужно следить за расстоянием между проводами и опорами, чтобы не было перенапряжений и коронного разряда. КЛЭП – это не просто сближение проводов. Важно, как именно расположены провода расщеплённых фаз, чтобы эффективно использовать пространство. В КЛЭП может быть больше проводов в одной фазе, чем в обычных линиях, что повышает надёжность. Линии электропередачи становятся длиннее, потому что требуется больше электроэнергии. Для электроснабжения требуется всё больше земли, и это зависит от напряжения в линиях. Часто эти земли можно использовать для сельского хозяйства, лесоводства или строительства жилья. Поэтому развитие КЛЭП важно для надёжного электроснабжения. Нужно бережно относиться к земле и соблюдать технические нормы, чтобы не вредить природе и эффективно использовать доступные территории.

Общие преимущества использования компактных линий электропередач

Компактные линии электропередачи (КЛЭП) позволяют сократить расходы на землю, так как для их размещения требуется меньше места. Это упрощает процесс согласования и снижает затраты на покупку земли. Благодаря большей мощности передачи на коротких расстояниях КЛЭП увеличивают пропускную способность сети. Это важно в городах с высокой плотностью застройки и большими нагрузками. Сближение фаз усиливает электромагнитное

поле внутри линии, тем самым улучшая её параметры. Экранирование проводов снижает воздействие на окружающую среду и технику. Современные технологии, используемые в воздушных линиях электропередачи, повышают надёжность и устойчивость к погодным условиям. Новые композитные материалы делают провода более прочными и устойчивыми к коррозии, что продлевает срок службы линии и снижает затраты на ремонт. Увеличение диаметра провода снижает индуктивность и повышает пропускную способность. Полимерные изоляторы и траверсы заменяют устаревшие фарфоровые и стеклянные, делая опоры более лёгкими и компактными. Эти материалы обладают высокой прочностью и устойчивостью к влаге, что важно в различных климатических условиях. Для опор используются многогранные металлические конструкции, разработанные с помощью компьютерного моделирования для обеспечения максимальной прочности при минимальном весе.

Сравнение традиционных и компактных линий

Новые компактные линии электропередачи (КЛЭП) представляют собой важный шаг в развитии энергетической инфраструктуры. Главное отличие этих ЛЭП заключается в использовании композитных проводов и арматуры. Это позволяет уменьшить количество опор, максимально сблизить фазы и, как следствие, повысить пропускную способность линии. Сближение фаз достигается за счет использования специальных полимерных изолирующих траверс, изолирующих распорок и современных полимерных изоляторов. Такие решения позволяют снизить негативное влияние строительства ЛЭП на окружающую среду, особенно в городах, курортных зонах и лесах первой категории. Использование компактных линий может оказаться более рентабельным, чем строительство традиционных линий напряжением 35–110 кВ. Это может иметь значение в условиях высокой стоимости земли и необходимости учитывать площадь, требуемую для отвода и охраны территории воздушной линии электропередачи. Для традиционных ЛЭП требуется больше места, чтобы обеспечить безопасное расстояние между проводами и землей, а также между самими проводами. Это приводит к необходимости вырубать больше леса, занимать больше сельскохозяйственных угодий и создавать визуальный дискомфорт в городской среде. Компактные ЛЭП, благодаря использованию современных материалов и конструкций, позволяют существенно уменьшить размеры охранных зон и снизить воздействие на окружающую среду. Помимо экологических преимуществ, компактные ЛЭП могут быть экономически более выгодными в долгосрочной перспективе. Уменьшение количества опор приводит к снижению затрат на строительство и обслуживание. Использование композитных материалов снижает вес проводов и опор, что упрощает монтаж и транспортировку. Близкое расположение фаз уменьшает потери электроэнергии при передаче, что снижает эксплуатационные расходы. В регионах с высокой плотностью населения или сложным рельефом использование компактных ЛЭП может быть единственным возможным решением для обеспечения надежного электроснабжения. Композитные провода, используемые в компактных ЛЭП, обладают рядом преимуществ по

сравнению с традиционными сталеалюминевыми проводами. Они легче, прочнее и лучше защищены от коррозии. Это позволяет увеличить расстояние между опорами, уменьшить их количество и снизить затраты на обслуживание. Композитные провода также обладают меньшим коэффициентом теплового расширения, что уменьшает провисание проводов в жаркую погоду и повышает надёжность линии. Полимерные изоляторы, используемые в компактных ЛЭП, также обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными фарфоровыми изоляторами. Они легче, прочнее и лучше защищены от загрязнений. Таким образом, новые компактные ЛЭП представляют собой перспективное направление в развитии энергетической инфраструктуры. Они позволяют снизить негативное воздействие на окружающую среду, уменьшить затраты на строительство и обслуживание, а также повысить надёжность электроснабжения. В условиях растущей потребности в электроэнергии и ограниченности земельных ресурсов использование компактных линий электропередачи становится всё более актуальным.

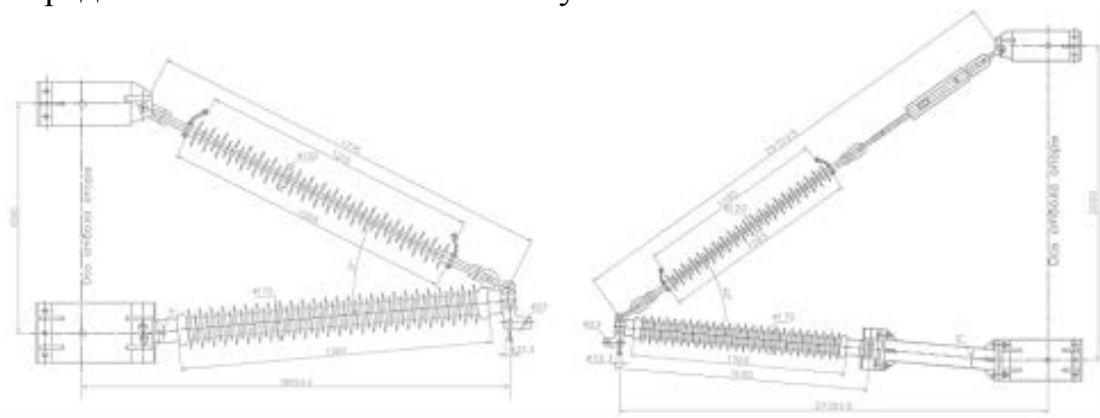


Рис. 1. Пример полимерных изолирующих траверс с тягой и увеличенной строительной длины для ВЛ 110 кВ

Использование межфазных изолирующих распорок (рис. 2, 3) позволяет уменьшить межфазные расстояния, предотвращая их соприкосновение. Обслуживание и ремонт линий с такими распорками возможны только при отключенном питании.

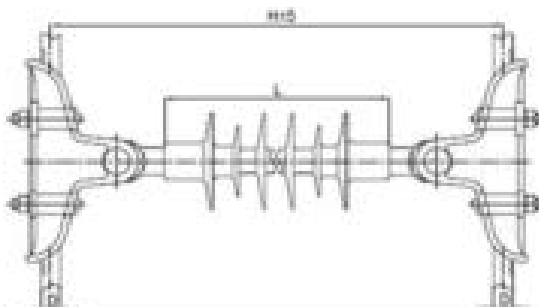


Рис. 2. Межфазная изолирующая распорка производства ЗАО «Инста» для ВЛ 10–35 кВ

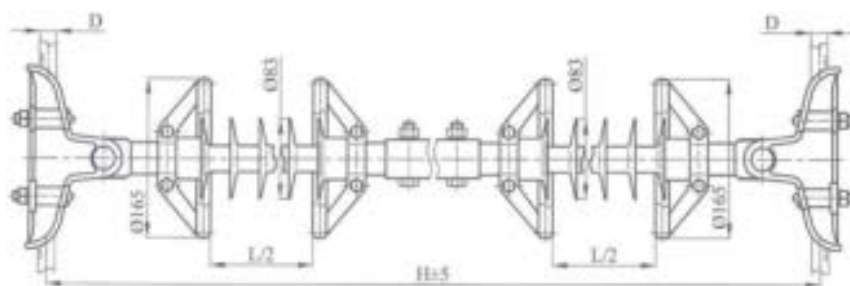


Рис. 3. Межфазные изолирующие распорка для ВЛ 110–220 кВ

Применение указанных технических решений и арматуры позволило значительно сократить размеры линий электропередачи. Возможна замена неизолированных проводов марки АС на изолированные или композитные алюминиевые провода, например типа АЕРО-Z. Это позволяет увеличить длину пролетов при строительстве новых линий или нарастить площадь сечения при модернизации существующих.

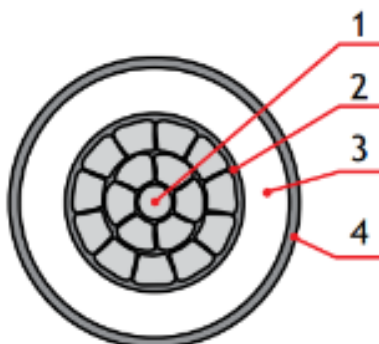


Рис. 4. Разрез провода марки АЕРО-Z

Современные провода, например АЕРО-Z и СИП-7, имеют особое строение. В их состав входят: 1) токопроводящая жила из алюминиевого сплава площадью 70–300 мм², которая защищена от воды специальными элементами при скручивании; 2) слой электропроводящего полиэтилена; 3) изоляция из сшитого полиэтилена; 4) оболочка из полиэтилена, устойчивого к погодным условиям. У АЕРО-Z и СИП-7 есть и другие преимущества. Они прочные, лучше выдерживают механические нагрузки и вибрацию. Кроме того, на них меньше намерзает льда, что важно в холодном климате. За счёт меньшего рассеивания магнитного поля они работают лучше и безопаснее. Исключается возможность коротких замыканий между фазами из-за перехлёста или падения проводов, что делает систему более надёжной. Снижение потерь на корону также повышает эффективность передачи электроэнергии. Важно, что создать компактные линии можно только с использованием современной арматуры, проводов и опор. Их изготавливают как из обычных материалов, так и из современных, например из стеклопластика.

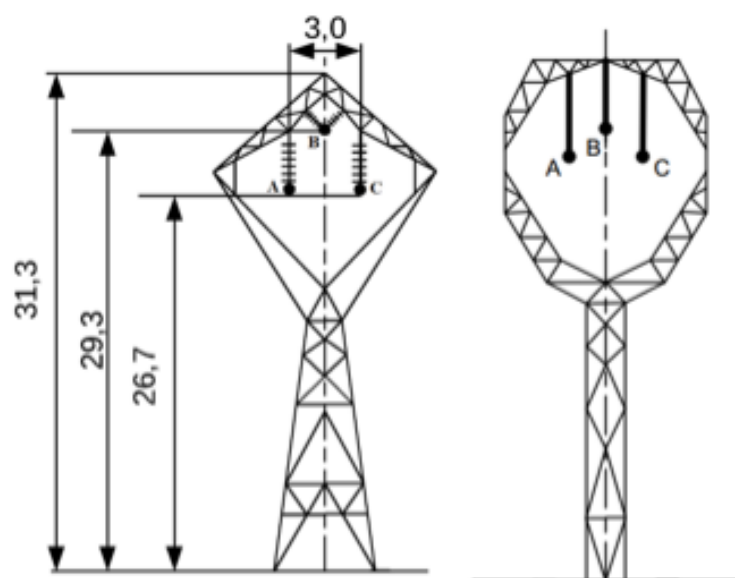


Рис. 5. Варианты современных, компактных одноцепных трехфазных ВЛ на башенной опоре с охватывающим окном

Современные компактные двухцепные ВЛ можно выполнять как минимум двумя способами: симметричное относительно оси опоры и транспонированное (рис. 6 и 7).

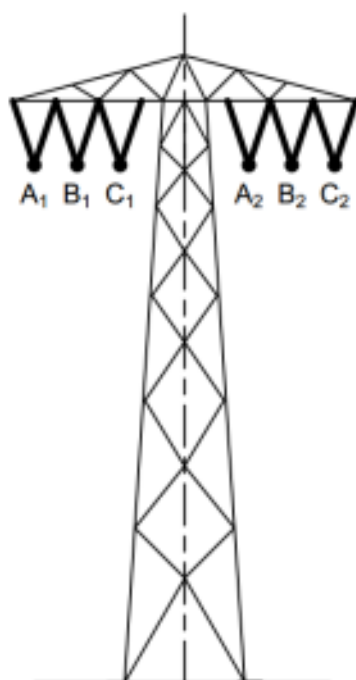


Рис. 6. Современная, компактная двухцепная трехфазная ВЛ на башенной опоре, A1, B1, C1 фаза первой цепи; A2, B2, C2 – фаза второй цепи

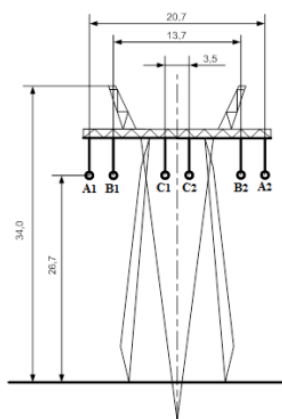


Рис. 7. Современных, компактная двухцепной трехфазных ВЛ с попарным сближением фаз, A1, B1, C1 – фаза первой цепи; A2, B2, C2 – фаза второй цепи

Заключение

Современные темпы развития электросетей требуют обновления подходов к эффективному использованию земельных ресурсов, а также улучшения технико-экономических характеристик работы передающих систем. Одним из многообещающих решений для модернизации действующих электропередач и создания современных систем являются компактные воздушные линии электропередачи. Эти линии показывают более высокие показатели надежности, пропускной способности и оптимального распределения электрического поля по сравнению с традиционными конструкциями линий электропередачи (ЛЭП).

Библиографический список

1. Будущее энергетики: новые возможности компактных линий электропередачи. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/8458/> (дата обращения 06.10.2025).
2. Компактные линии электропередач: эффектный и экономичный дизайн. [Электронный ресурс]. URL <https://pfisterer.com.ru/top-topics/compact-lines.html> (дата обращения 10.10.2025).
3. Новые возможности компактных линий электропередачи. [Электронный ресурс]. URL <https://right-level.ru/news/novye-vozmozhnosti-kompaktnykh-linij-ye/> (дата обращения 15.10.2025).
4. Провода с композитным сердечником. [Электронный ресурс]. URL <https://avatok.ru/stati/103-sposoby-borby-s-obledeneniem-na-provodakh-lep-v-ramkakh-tekhnicheskoj-politiki-fsk-ees> (дата обращения 17.10.2025).
5. Компактные воздушные линии [Электронный ресурс]. URL <https://eepir.ru/new/kompaktnye-vozdushnye-linii/> (дата обращения 21.10.2025).

© Чирков М.С., 2025

УДК 004.046

Н.С. КУДРЯВЦЕВ

xzikyrx@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Т.А. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Аннотация: в статье анализируются технологии информационного моделирования, их развитие, применение и разновидности.

Ключевые слова: Информационное моделирование, BIM – технологии, ТИМ – технологии, цифровой двойник.

Информационное моделирование представляет из себя сложный и многоступенчатый процесс, с помощью которого создается цифровая модель объекта или системы. С помощью данных, которые содержатся в ней можно управлять всей информацией на протяжении всего жизненного цикла – от начала до конца постройки/ реконструкции. В рамках этого процесса можно отметить BIM (Building Information Model) – это объектно-ориентированная модель любого объекта в трёхмерном виде, но главной составляющей проекта является информация, заложенная в каждый элемент информационной модели, а в России применяется аналогичный термин – ТИМ (технология информационного моделирования) [1,2].

На данный момент в различных странах мира, таких как США, Великобритания, Франция, страны Северной Европы, Сингапур, Южная Корея, Китай и многих других наблюдается активное внедрение технологий информационного моделирования, известные как BIM. Эти методики становятся важным инструментом в строительной отрасли, так как они позволяют значительно улучшить процессы проектирования, строительства и эксплуатации объектов недвижимости. Масштаб внедрения BIM в различных странах может значительно отличаться в зависимости от множества факторов, включая экономические выгоды, которые могут быть получены в результате применения этих технологий. Такие выгоды могут проявляться на различных этапах реализации строительного проекта и на различных уровнях – как на уровне отдельного предприятия, так и на уровне всей отрасли или даже государства в целом.

Применение BIM-технологий приносит множество положительных результатов. Во-первых, это высокое качество создаваемой проектной документации. Использование информационного моделирования позволяет создавать более точные и детализированные проекты, что, в свою очередь, снижает вероятность ошибок и недочетов в процессе строительства. Во-вторых,

применение BIM способствует снижению затрат на этапе строительства. Это происходит благодаря эффективному планированию ресурсов, времени и финансов, а также минимизации рисков, связанных с изменениями в проекте. Кроме того, информационное моделирование налаживает информационный обмен между всеми участниками процесса. Все данные и документы хранятся в едином месте, что упрощает доступ к информации и способствует эффективному взаимодействию между архитекторами, инженерами, строителями и другими специалистами, вовлеченными в проект. Это, в свою очередь, приводит к улучшению экономической эффективности реализации проектов, что является важным аспектом для всех участников процесса [3].

Информационное моделирование в России берет свое начало еще с 80-х годов СССР, но первая модель была создана в 2008 году в Академгородке Новосибирска, а активное внедрение начинается с 2014 года. С 1 сентября 2024 года вступает в силу постановление Правительства Российской Федерации от 17 мая 2024 г. № 614 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства и представляемых в форме электронных документов, и требований к форматам указанных электронных документов». Информационное моделирование набирает популярность в области проектирования/строительства/реконструкции объектов энергетики [4,5].

Главным преимуществом использования данных технологий является то, что модель объекта можно изменить в любой момент времени. Нет необходимости ждать согласования документации в бумажном виде, так как при обнаружении ошибок, можно произвести изменения в модели в своем разделе (например электрики или строители), и оно автоматически обновит параметры для всех. В последние годы наблюдается значительное развитие технологий, которые оказывают влияние на проектирование/строительство/реконструкцию различных объектов. Внедрение технологий информационного моделирования является важным шагом к повышению качества и эффективности всех процессов, связанных с объектами. Эти методики не только способствуют ускорению проектирования, но и значительно снижают затраты. Однако, для того чтобы достичь максимальных результатов от внедрения BIM – технологий необходимо не только их использование, но и постоянно развитие и совершенствование этих систем. В современном мире требуются специалисты, которые смогут работать и обучать BIM/ТИМ технологиям, данные люди «навес золота», так как их считанные единицы.

С помощью BIM/ТИМ технологий можно создать детализированную модель практически любого объекта. На рисунке 1–3 изображены виды моделирования подстанции, что позволяет более точно визуализировать объекты, их расположение в пространстве, а также выявить коллизии, которые могут возникнуть при проектировании/строительстве/реконструкции объектов энергетики.

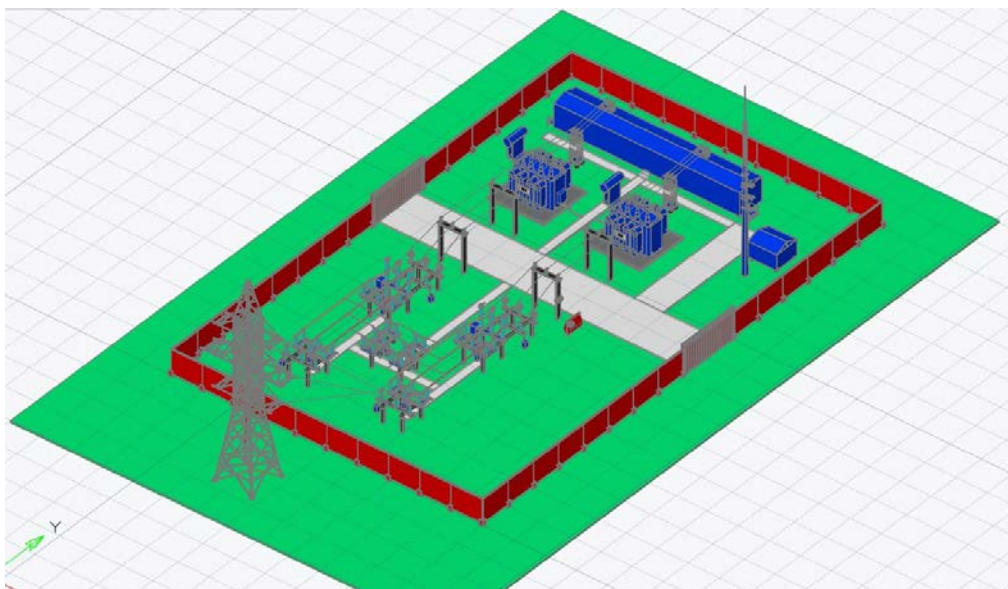


Рис. 1. Первый вид BIM/ТИМ модели подстанции

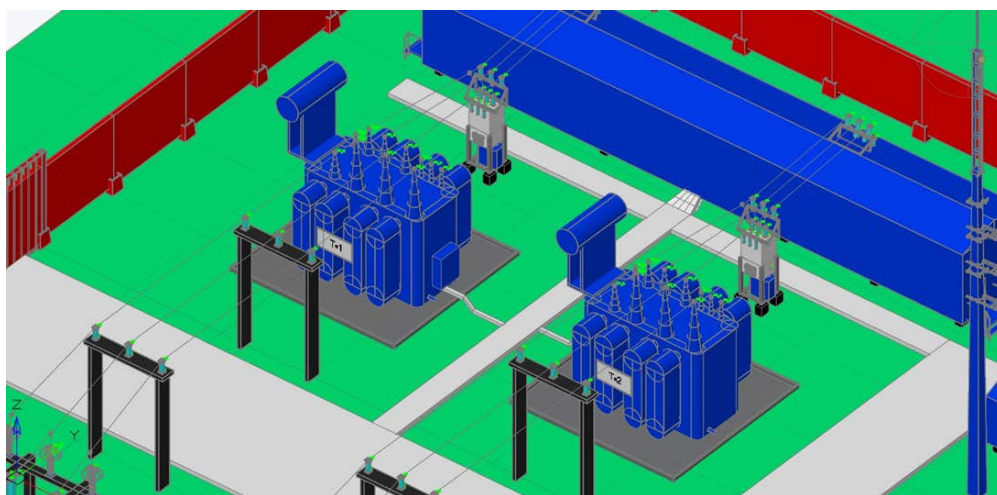


Рис. 2. Второй вид BIM/ТИМ модели подстанции

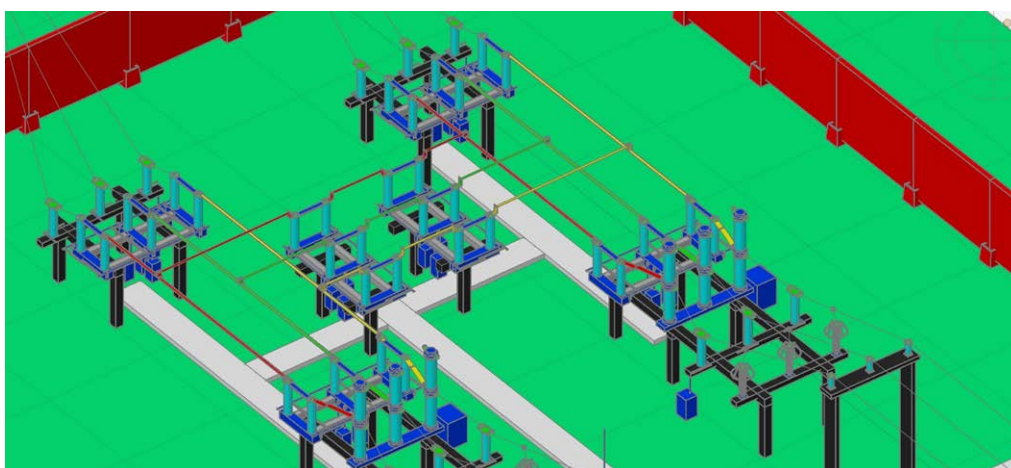


Рис. 3. Третий вид BIM/ТИМ модели подстанции

На сегодняшний день информационные модели стали неотъемлемой частью любого объекта, поскольку они позволяют создать его "предварительный

цифровой двойник". Цифровой двойник представляет собой виртуальную, динамическую копию физического объекта, процесса или системы. Этот двойник получает данные в режиме реального времени с помощью датчиков, что дает возможность воспроизводить свойства и поведение оригинала. С помощью цифрового двойника можно проводить анализ работы реального объекта, проверять его функциональность, выявлять потенциальные проблемы и принимать обоснованные решения в различных ситуациях. Однако до создания полноценного "цифрового двойника" еще предстоит пройти долгий и сложный путь, который включает в себя все этапы – от проектирования до отладки программного обеспечения [6].

В заключении, можно сказать, что традиционные методы постепенно уступают место современным информационным моделям. Прогресс в этой области открывает новые возможности для будущего. Внедрение и активное использование технологий информационного моделирования является не только тенденциями, но и необходимыми шагами для всех участников проектирования/строительства/реконструкции объектов энергетики.

Библиографический список

1. Что такое BIM? Расскажем простым языком. Все самое важное о BIM на одной странице. // URL: <https://rengabim.com/stati/chto-takoe-bim/>
2. Информационная модель. // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C#:~:text=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8.,%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C#:~:text=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8.](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C#:~:text=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8.,%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C#:~:text=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8.,%D0%98%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D0%BD%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB%D1%8C#:~:text=%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BA%D1%80%D0%B5%D1%82%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%BD%D0%BE%D0%B9%20%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B8.)
3. Терехов А.Г., Разработка эффективных моделей, создание и эксплуатация доходных домов: доцент, д.э.н.: 08.04.01 / Терехов А.Г. – Красноярск, 2020. – 87 с.
4. BIM моделирование и его становление в Российской Федерации. // URL: <https://infourok.ru/statya-na-temu-bim-modelirovanie-i-ego-stanovlenie-v-rossijskoj-federacii-5605070.html>.
5. Утверждены правила формирования и ведения информационной модели. // URL: <https://gge.ru/press-center/news/utverzhdeny-pravila-formirovaniya-i-vedeniya-informatsionnoy-modeli/?ysclid=mgdtmnwbek269588870>.
6. Что такое цифровые двойники и где их используют. // URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/6107e5339a79478125166eeb%D1%8A?from=copy>.

© Кудрявцев Н.С., 2025

УДК 004.046

Я.О. СЕМЕНОВ

syo.uust@mail.ru

Науч. руковод. – канд.техн.наук, доцент Т.А. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Аннотация: в статье рассматривается применение технологий информационного моделирования.

Ключевые слова: информационное моделирование, технологии информационного моделирования

В современной практике все чаще встречаются проекты реконструкции подстанций, построенных несколько десятков лет назад. Проектирование таких объектов сопровождается рядом сложностей, обусловленных ограниченными сроками, ростом цен на оборудование и возможными ошибками в процессе проектирования.

Для преодоления этих трудностей необходимо создание детальной и точной модели объекта, позволяющей осуществить реконструкцию без дополнительных этапов.

Традиционные двумерные проекции не способны отразить все характеристики подстанции и затрудняют внесение изменений в конструкцию объекта во время эксплуатации.

Информационная модель – это трехмерная копия реального объекта с детальной информацией о его характеристиках.

Информационное моделирование основано на управлении данными модели. На протяжении всех этапов жизненного цикла происходит корректировка данных модели [1].

Ключевым элементом информационной модели является база данных, включающая различные модели с параметрами и характеристиками. Эта база данных позволяет формировать рабочую и сметную документацию, а также рассчитывать ведомости объемов работ для конкретного объекта.

Технологии информационного моделирования (ТИМ) обладают рядом преимуществ:

- минимизация ошибок: ТИМ способствует снижению количества ошибок в проекте;
- оптимизация стоимости и сроков: использование ТИМ сокращает стоимость и сроки проектирования;

- гибкость: Информационная модель может быть изменена в процессе эксплуатации объекта, например, при замене оборудования. Модель автоматически адаптируется к новым параметрам;

- удобство работы: ТИМ делает процесс проектирования более удобным, позволяя нескольким специалистам одновременно работать с одной моделью и получать доступ к любой информации об объекте.

Несмотря на преимущества, ТИМ также имеет недостатки:

Отсутствие единого стандарта: Отсутствие единого стандарта затрудняет перенос информационной модели между различными программными продуктами.

Помимо преимуществ у ТИМ есть также и недостатки:

- отсутствие единого стандарта, которые препятствует переносу информационной модели с одной программы в другую;

- отсутствие опыта работы с программами, основывающихся на ТИМ технологиях;

- долгий процесс обучения работе в программах для проектирования информационных моделей.

В электроэнергетике ТИМ могут быть применены для решения различных задач, в том числе проектирования молниезащиты распределительного устройства подстанции.

Молниезащита – это комплексная система мер и технических решений, направленных на обеспечение безопасности и стабильной работы энергообъектов в условиях грозовой активности [2].

При классическом расчете, который производится вручную согласно методикам, приведенных в нормативных документах возможно совершить ошибки в выборе молниеприёмников (выбор неправильного типа молниеприемника), неправильное расположение молниеприемников, недостаточное количество молниеприемников [3], так как при «обычном» 2D проектировании и расчете молниезащиты определение зоны защиты может оказаться весьма сложным, так как придется производить большое количество итераций.

При использовании ТИМ: сначала строится модель распределительного устройства, на которой устанавливается все существующее оборудование, затем производится расчет молниезащиты. Расчет можно производить по нормативным документам: СО 153-34.21.122-2003 [4], РД 34.21.122-87 [5], СТО Газпром 2-1.11-170-2007 [6] для следующих уровней надежности: 0,9, 0,95, 0,99, 0,999.

Преимуществами использования ТИМ для произведения подобных расчетов являются: простота и скорость расчетов, наглядность зон защиты.

На рисунке 1 представлена модель открытого распределительного устройства 220 кВ.

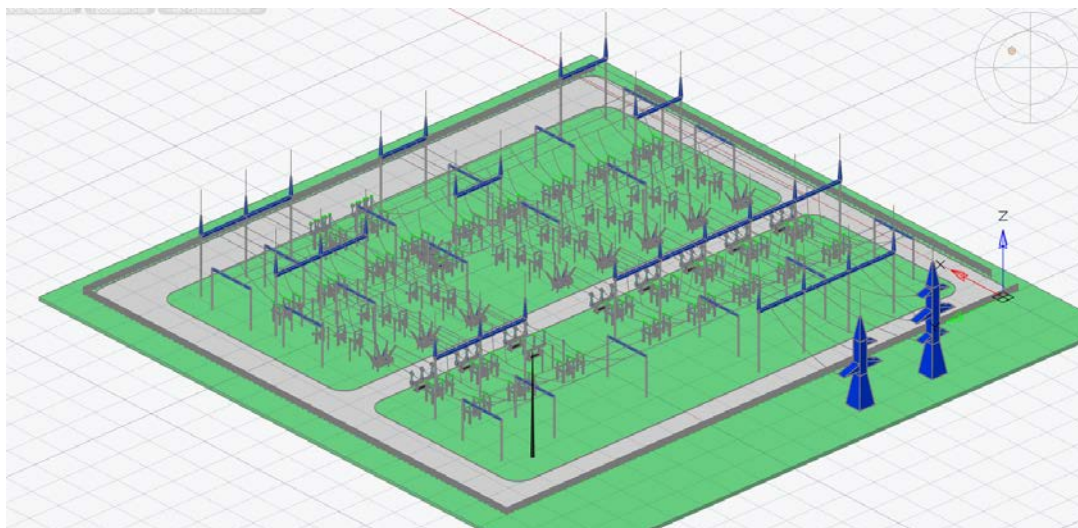


Рис. 1. Модель ОРУ 220 кВ

Для расчета молниезащиты необходимо выбрать одну из методик расчета. На рисунке 2 представлен расчет молниезащиты по СО 153-34.21.122-2003 [4], с уровнем защиты 0,99.

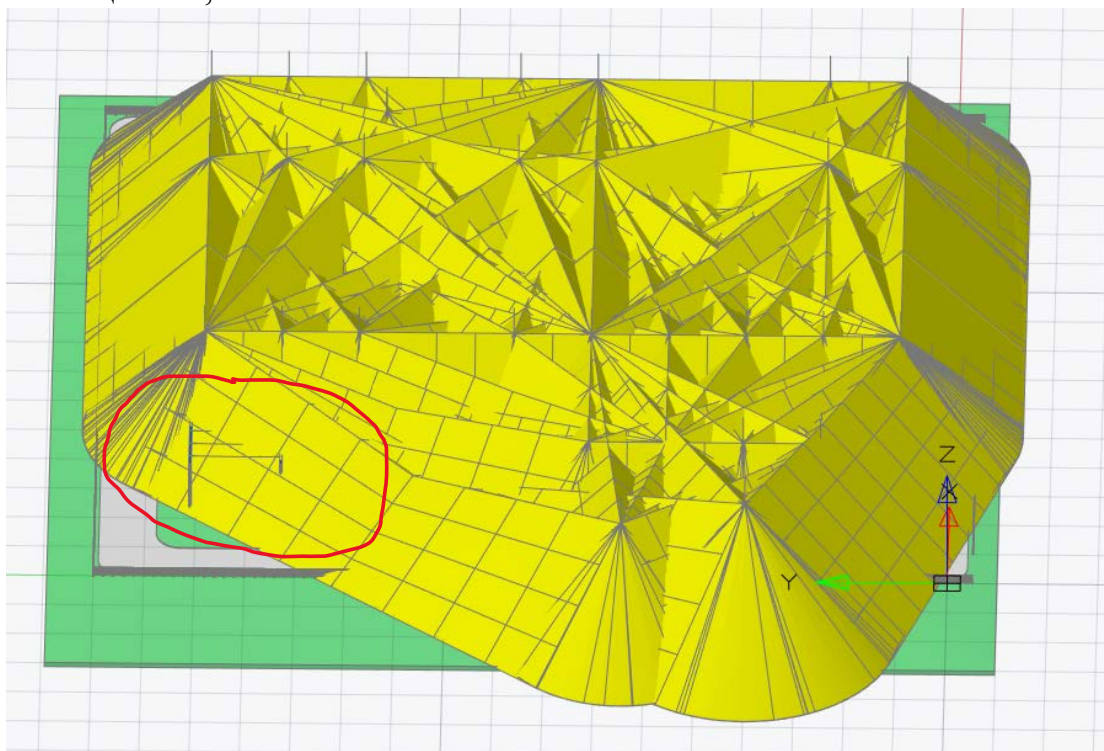


Рис. 2. 3D модель молниезащиты ОРУ 220 кВ

Благодаря спроектированной 3D модели с помощью ТИМ произвести расчет молниезащиты и увидеть все недостатки существующий/вновь проектируемой защиты. Технологии информационного моделирования заменяют трудоемкие расчеты, благодаря чему удастся произвести проверку существующей защиты, а также произвести расчет новой защиты.

В заключении можно сказать, что использование ТИМ являются эффективным инструментом, который позволяет ускорить процесс

проектирования и расчетов, сократить количество возможных ошибок при проектировании, оптимизировать сроки проектирования.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] https://энергия-единой-сети.рф/wp-content/uploads/2023/04/007_ntc_ees_kovirshina.pdf.
2. [Электронный ресурс] <https://elektrolaba.ru/molniezashita-podstancij>.
3. [Электронный ресурс] <https://www.dkc.ru/ru/about/publications/250923/>.
4. СО 153-34.21.122-2003 «Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций».
5. «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений» РД 34.21.122-87.
6. «Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений, сооружений и коммуникаций ОАО «ГАЗПРОМ» СТО Газпром 2-1.11-170-2007.
7. [Электронный ресурс] https://im-journal.ru/articles/im_05_04.html.
8. [Электронный ресурс] https://www.soups.ru/fileadmin/files/company/events/2025/science/history/Plenarnaja_chast-Cifrovyje_informacionnye_modeli_Beljaev_NA.pdf.
9. ГОСТ Р 10.00.00.01-2025 «Единая система информационного моделирования. Термины и определения» [Электронный ресурс] URL: <https://protect.gost.ru/v.aspx?control=8&baseC=6&page=0&month=1&year=-1&search=&RegNum=1&DocOnPageCount=15&id=254704>.
10. [Электронный ресурс] <https://revizto.com/en/bim-for-electrical-engineering/>.

© Семенов Я.О., 2025

УДК 338.28

А.А. КУЗНЕЦОВА

arina.arina.ku.kuznetsova@mail.ru

Науч. руковод. – старший преподаватель Р.И. ГАРЕЕВ

Уфимский университет науки и технологий

УЯЗВИМОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОССИИ ВСЛЕДСТВИЕ ВНЕДРЕНИЯ ГЛУБОКОЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Аннотация: анализ уязвимостей, возникающих в ЭЭС вследствие внедрения цифровых технологий, и возможность разработки мер по повышению киберустойчивости.

Ключевые слова: электроэнергетическая система (ЭЭС), цифровой двойник, Smart Grid, АСУ ТП, критическая информационная инфраструктура (КИИ), интернет вещей (IoT).

Электроэнергетическая система (ЭЭС) является важнейшим элементом обеспечения жизнедеятельности любого государства, вследствие этого ее относят к числу критически важных объектов инфраструктуры.

В настоящее время Российская ЭЭС входит в этап глубокой цифровизации, обусловленный внедрением таких технологий, как: интернет вещей (IoT), больших данных (Big data), искусственного интеллекта (AI), цифровые подстанции, цифровые двойники. Это приводит к созданию интеллектуальных энергосистем (Smart Grid), повышающих эффективность, надежность и управляемость. Однако параллельно формируется новая, цифровая уязвимость системы.

Современная электроэнергетическая система представляет собой сложный технологический комплекс, от бесперебойной работы которого зависит функционирование всей экономики и социальной сферы. Тенденция к глубокой цифровизации, переход к Интеллектуальной энергосистеме с активно-адаптивной сетью (ИЭС ААС) и внедрение стандартов МЭК 61850 для цифровых подстанций кардинально меняют архитектуру управления, повышая ее эффективность, наблюдаемость и управляемость [1]. Однако этот же процесс создает новые векторы для кибератак, значительно повышая уязвимость энергоинфраструктуры.

Актуальность темы подтверждается растущим вниманием регуляторов и участников рынка, о чем свидетельствуют результаты отраслевых опросов [2]. Цель данной статьи – проанализировать ключевые факторы, повышающие киберуязвимость электроэнергетической системы России в условиях цифровизации, и наметить возможные пути противодействия возникающим угрозам.

1. Факторы роста уязвимости в условиях цифровизации.

1.1. Открытость и стандартизация технологических протоколов.

Основу цифровой трансформации энергетики составляют международные стандарты, такие как МЭК 60870-5-104 и МЭК 61850. Их открытость и детальная документация, с одной стороны, упрощают интеграцию и снижают стоимость, а с другой – предоставляют злоумышленникам исчерпывающую информацию для анализа и эксплуатации уязвимостей [1]. Протоколы изначально разрабатывались без должного внимания к вопросам информационной безопасности (ИБ), что приводит к отсутствию встроенных механизмов аутентификации и шифрования. Это позволяет осуществлять несанкционированное вмешательство в технологический процесс, включая подачу ложных команд на отключение оборудования [3].

Данные опроса, в соответствии с рисунком 1.1, проведенного компанией «ИнфоТеКС», подтверждают широкое распространение уязвимых протоколов: МЭК 60870-5-104 используется в 37% случаев, а МЭК 61850 (MMS) – в 31%. При этом 41% респондентов уже внедряет элементы цифровых подстанций на базе МЭК 61850 [2].

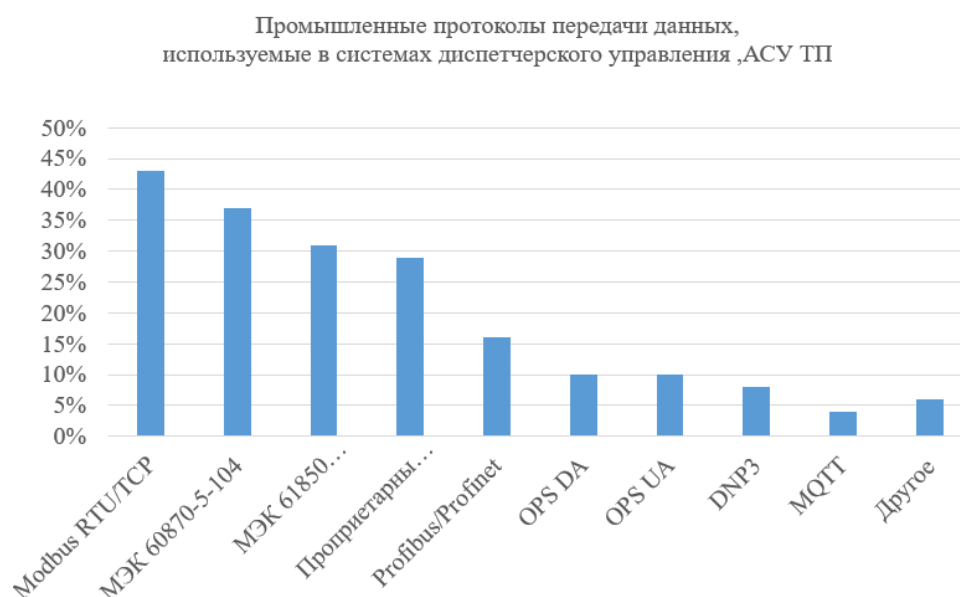


Рис. 1. Данные опроса промышленных протоколах передачи данных

1.2. Интеграция и стирание периметров.

Цифровизация приводит к конвергенции технологических (АСУ ТП) и корпоративных сетей. Согласно опросу, 27% организаций используют удаленные подключения для обслуживания информационных систем сотрудниками предприятия, а 23% – для диспетчеризации и мониторинга [2]. Стихийно организованные каналы удаленного доступа, в том числе с корпоративных рабочих мест, имеющих выход в интернет, создают «лазейки» для проникновения извне [1]. При этом только 44% респондентов сообщили о наличии изолированных сегментов в своей ЛВС [2].

1.3. «Человеческий фактор» и недостаток компетенций.

Одной из системных проблем является недостаточная осведомленность эксплуатационного персонала в вопросах информационной безопасности (ИБ). Ограниченное число специалистов обслуживает большое количество распределенных устройств, что приводит к упрощению политик доступа. Устройства годами эксплуатируются с паролями по умолчанию, а обновления ПО практически не производятся [1].

1.4. Длительный жизненный цикл оборудования и проблемы импортозамещения.

Срок службы устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) составляет 20–30 лет. Таким образом, уязвимые системы, внедряемые сегодня, будут оставаться в эксплуатации десятилетиями [1]. Поэтапная модернизация затруднена из-за несовместимости защищенных решений (с шифрованием) с существующими системами.

Параллельно остро стоит задача импортозамещения. Опрос показывает, что 50% организаций планируют работы по импортозамещению средств защиты информации (СЗИ), а 36% – уже используют или планируют интеграцию в АСУ ТП встраиваемых российских сертифицированных СЗИ [2]. Однако 63% представителей предприятий электроэнергетики и 37% интеграторов не имеют достаточной информации об отечественных производителях решений АСУ ТП со встроенными СЗИ [2]. Это создает значительный барьер для быстрого и безопасного перехода на отечественные платформы.

1.5. Внедрение искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект (ИИ) становится ключевым элементом революции в энергетике, предоставляя новые возможности для решения сложных задач управления энергосистемами. Применение ИИ в управлении энергетическими системами, также известными как "умные сети", становится все более распространенным и показывает впечатляющие результаты в оптимизации работы, прогнозировании нагрузок и повышении эффективности энергоснабжения.

Ключевые направления применения ИИ: оптимизация распределения энергии, управление энергетическими сетями и прогнозирование нагрузок [6].

Использование ИИ в оптимизации распределения энергии позволяет снизить потери энергии, уменьшить нагрузку на сеть в периоды пикового спроса и повысить эффективность работы электростанций и энергосистем в целом.

Ключевые проблемы, из-за внедрения искусственного интеллекта.

Расширение поверхности атаки. Каждая модель ИИ, каждый датчик с алгоритмом машинного обучения – это новая потенциальная точка входа для злоумышленника. Чем сложнее и "умнее" система, тем больше у нее уязвимостей.

Новые классы кибератак. Появляются атаки, специфичные именно для ИИ:

Adversarial Attacks (Состязательные атаки): Злоумышленник может незаметно исказить входные данные для ИИ. Например, слегка изменить показания датчика тока или напряжения в цифровой подстанции. Модель ИИ,

отвечающая за управление сетью, воспримет это как реальную ситуацию и отдаст команду, которая приведет к каскадному отключению [5].

Отравление данных (Data Poisoning): Атакующий может "подмешать" ложные данные в набор, на котором обучается модель ИИ. Это приведет к тому, что система будет принимать некорректные решения уже на этапе эксплуатации.

2. Направления повышения киберустойчивости.

2.1. Внедрение специализированных средств защиты.

Речь идет о решениях, разработанных специально для промышленных систем, таких как Kaspersky Industrial CyberSecurity (KICS). Они включают защиту конечных узлов (KICS for Nodes) с помощью белых списков приложений, контроля устройств и межсетевых экранов, а также мониторинг сетевого обмена (KICS for Networks) с глубоким анализом технологических протоколов для обнаружения аномалий и кибератак [1].

2.2. Сегментация сетей и управление доступом.

Необходимо проектировать и внедрять изолированные сегменты локальных вычислительных систем (ЛВС), строго регламентировать удаленный доступ через VPN, а также внедрять системы двухфакторной аутентификации.

2.3. Повышение осведомленности и компетенций персонала.

Развитие отечественных экосистем, стимулирование разработки и внедрения совместимых между собой российских решений для АСУ ТП со встроенными сертифицированными СЗИ является стратегической задачей для снижения зависимости от иностранных вендоров и долгосрочного обеспечения безопасности.

В заключение можно сказать, что глубокая цифровизация электроэнергетики России – объективный и необходимый процесс, несущий в себе как значительные преимущества, так и серьезные риски. Анализ показывает, что уязвимость энергосистемы возрастает из-за совокупности факторов: использования открытых протоколов, интеграции сетей, кадровых проблем и длительного цикла обновления фондов. Успешное противодействие этим вызовам требует консолидированных усилий государства, бизнеса и научного сообщества, ориентированных на комплексный подход, сочетающий внедрение современных специализированных средств защиты, развитие нормативной базы и ускоренное формирование конкурентоспособной отечественной экосистемы промышленной кибербезопасности.

Библиографический список

1. Кибербезопасность электроэнергетической инфраструктуры // Официальный документ. АО «Лаборатория Касперского». – 2019.
2. Сводные результаты опроса «Кибербезопасность в электроэнергетике» // Аналитический отчет. АО «ИнфоТеКС». – 2022.
3. О вопросах кибербезопасности в энергетике [Электронный ресурс] // КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-voprosah-kiberbezopasnosti-v-energetike> (дата обращения: 11.11.2025).

4. Кибербезопасность в энергетике [Электронный ресурс] // InfoWatch. – URL: <https://www.infowatch.ru/analytics/daydzhesty-i-obzory/kiberbezopasnost-v-energetike> (дата обращения: 11.11.2025).

5. Д.В. Паннтюхин // Учебно-методические материалы мастер-класса «Состязательные атаки на нейронные сети распознавания изображений» для студентов и школьников // Конкурс Инфо-2023.

6. Валиев Н., Батыров Д., Джуманиязов Н., Алланазаров Ю., // Использование искусственного интеллекта в электроэнергетике // Международный научный журнал «Символ науки» – 2025г. – с. 45-46.

© Кузнецова А.А., 2025

А.А. ГАЛИЕВА, А.С. СИДОРОВ, Я.Е. СМАГИНА

sanyasidorov2004@mail.ru,

Yana21112@yandex.ru,

alinka-malinka.a.01@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация: статья посвящена актуальным вопросам модернизации синхронных двигателей, занимающих важное место в современной промышленности благодаря своим уникальным эксплуатационным характеристикам.

Ключевые слова: энергоэффективность, синхронный двигатель, синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ).

Синхронный двигатель – тип электрических машин с равной частотой вращения вала и крутящегося магнитного поля неподвижного узла (рис. 1). За счет относительно сложной конструкции такие двигатели не так распространены, как асинхронные двигатели, однако, в некоторых случаях являются практически незаменимыми.

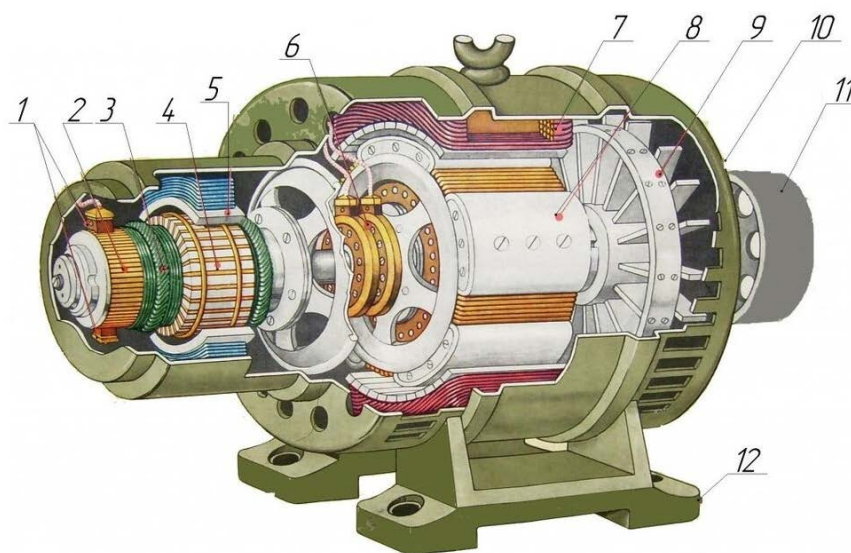


Рис. 1. Конструкция синхронного двигателя:

- 1 – щетки и щеткодержатели, 2 – коллектор, 3 – обмотка якоря, 4 – якорь,
5 – статор, 6 – контактные кольца, 7 – обмотка статора, 8 – ротор генератора,
9 – вентилятор, 10 – корпус генератора, 11 – привод, 12 – станина.

Совершенствование синхронных двигателей осуществляется по нескольким ключевым направлениям: оптимизация конструктивного исполнения, внедрение современных материалов, совершенствование систем управления и развитие программного обеспечения. Конкретные методы модернизации определяются типом машины, что наглядно проявляется в подходах к совершенствованию синхронных двигателей с постоянными магнитами (рис. 2).



Рис. 2. Роторы синхронного двигателя

Модернизация этих электромеханических преобразователей представляет собой сложный междисциплинарный процесс, охватывающий комплексную оптимизацию конструктивных решений, последовательное внедрение перспективных материалов и непрерывное совершенствование систем управления. Особую значимость приобретает дифференцированный подход к модернизации, предполагающий учет специфических особенностей различных типов электрических машин, что находит наиболее полное отражение при работе с СДПМ, где каждый конструктивный элемент требует индивидуального подхода.

Одним из ключевых направлений технического совершенствования является глубокая топологическая оптимизация роторной системы, основанная на применении передовых методов многофакторного моделирования. Такой подход позволяет учитывать сложные взаимосвязи между электромагнитными, тепловыми и прочностными процессами, протекающими в двигателе. Использование современных вычислительных методов, включая генетические алгоритмы и методы конечных элементов, дает возможность находить оптимальные геометрические параметры как статора, так и ротора. Это в конечном итоге обеспечивает значительное увеличение вращающего момента без необходимости увеличения объема дорогостоящих постоянных магнитов, при одновременном сохранении требуемых тепловых и прочностных характеристик конструкции.

Существенное внимание в процессе модернизации уделяется совершенствованию системы охлаждения обмотки возбуждения. Кардинальное

улучшение теплового режима работы достигается за счет перехода от традиционного косвенного охлаждения к современному форсированному. Техническая реализация этого перехода включает в себя целенаправленное изменение геометрии обмотки и создание разветвленной системы дополнительных каналов для охлаждающего газа, что в совокупности обеспечивает интенсивный теплоотвод и существенно повышает общую надежность двигателя в условиях продолжительной эксплуатации под нагрузкой.

В области материаловедения приоритетным направлением становится применение принципиально новых магнитных материалов. Использование улучшенных марок электротехнической стали с ориентированной зеренной структурой позволяет значительно снизить магнитные потери в сердечнике, тогда как внедрение аморфных магнитных материалов обеспечивает соответствие двигателей высшим классам энергоэффективности IE3 и IE4. Дополнительный положительный эффект достигается за счет реализации специальных конструктивных решений, включая использование закрытых пазов ротора и применение специальных технологических приемов, направленных на повышение переходного сопротивления между короткозамкнутой клеткой и магнитопроводом ротора.

Современные системы управления СДПМ характеризуются активным внедрением бездатчиковых технологий, при которых точное положение ротора определяется косвенными методами через анализ измеренных токов статора. Такой подход значительно повышает надежность работы электропривода в экстремальных условиях эксплуатации. Стабильность функционирования системы управления в условиях изменяющихся внешних воздействий обеспечивается за счет использования адаптивных алгоритмов наблюдателей, в то время как точное регулирование магнитного потока ротора реализуется на основе принципов векторного управления.

Особую роль в современном электроприводе играет программное обеспечение, становящееся неотъемлемым компонентом системы управления. Интеллектуальные алгоритмы управления питанием обмоток позволяют формировать оптимальную форму электромагнитного момента и эффективно снижать динамические нагрузки. Все более широкое применение находят специализированные программные библиотеки, такие как ST MC FOC, обеспечивающие практическую реализацию сложных методов управления, в частности полеориентированного управления трехфазными двигателями с постоянными магнитами.

Комплексная интеграция всех перечисленных направлений модернизации позволяет создавать высокоэффективные электроприводы нового поколения, в полной мере отвечающие растущим требованиям современной промышленности к энергоэффективности, надежности, компактности и интеллектуальности. Дальнейшее развитие СДПМ видится в углублении междисциплинарных исследований, направленных на поиск оптимальных компромиссов между электромагнитными, тепловыми и прочностными характеристиками, а также в

разработке более совершенных алгоритмов управления, способных адаптироваться к изменяющимся условиям эксплуатации.

Библиографический список

1. Иванов И. И. Электротехника и основы электро-ники: учебник для вузов / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. – 14-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2025. – 736 с.: ил. – Текст: непосредственный.
2. Электромеханические преобразователи энергии: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2004. – 208 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

© Галиева А.А., Смагина Я.Е., Сидоров А.С., 2025

А.Е. БЫВАЛЬЦЕВ

byvaltsev_2001@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДЕМПФЕРОВ

Аннотация: рассматриваются вопросы диагностики магнитоэлектрических демпферов стыковочных устройств космических аппаратов по их внешнему магнитному полю. Приведено описание стенда, имитирующего режим работы демпфера при стыковке и оборудования для регистрации и обработки характеристик.

Ключевые слова: стыковочное устройство, шарико-винтовые преобразователи, магнитоэлектрический демпфер, диагностика, внешнее магнитное поле, разгонная установка.

Магнитоэлектрические демпферы (МЭД) применяются в стыковочных и навигационных узлах космических кораблей и морских судов, приводах аэродиминаческих рулей ракет для остановки и торможения механизмов, для гашения кинетической энергии соударяющихся объектов и/или свободно соединенных частей, передачи крутящего момента. Выделяют три основные области применения демпфирующих электромеханических преобразователей энергии (ДЭМП): использование демпферов в качестве электродинамических тормозов; использование преобразователей в качестве нагрузочных машин, где они являются основной частью испытательных стендов; использование в амортизационных и других системах с ударной нагрузкой. Их широкое распространение обусловлено простотой конструкции, низкой себестоимостью, достаточно высокой надежностью и малым потреблением энергии на управление [1]. Исследовались МЭД стыковочных узлов космических аппаратов (КА) типа штырь-конус, периферийные андрогинные агрегаты, используемые в американской и российской технике на «Союзах» и «Спейс Шаттлах». Для амортизации соударения стыкующихся объектов в американских системах применяются гидравлические демпферы, а в российских системах используются электромагнитные демпферы. Разработкой конструкции и их оптимизацией, то есть повышением их эффективности занимались ученые кафедры электромеханики УУНиТ во главе с профессором И. Х. Хайруллиным. Главным руководителем этих исследований и разработок являлся В. С. Сыромятников. В «горячие годы» развития стыковочной техники кафедра по заданиям ОКБ-1 и производственной поддержке завода «Машиноаппарат» [2] успешно работала над повышением эффективности и уменьшением инерционности МЭД.

В настоящее время на кафедре активно развивается теория диагностики электромеханических устройств по внешнему магнитному полю [3]. Варианты этих устройств построены на электромеханической концепции, их ключевыми конструктивными компонентами являются шарико-винтовые преобразователи (ШВП) и МЭД. Поступательные движения соударяющихся КА ШВП преобразует во вращательные движения роторов демпферов, в которых и происходит преобразование механической энергии в тепловую, то есть ротора нагреваются с очень большой скоростью и остывая, рассеивают тепловую энергию в окружающее пространство. Для привода МЭД при амортизации соударения КА вначале стыковки ШВП преобразует поступательное движение во вращательное.

Стенд для исследования МЭД, разработанный авторами, включает разгонную установку (РУ). Разработанная разгонная установка (РУ), которая в свою очередь включает двигатель, выполненный на базе статора авиационного электромашинного агрегата типа УФ (АЭА) с массивным стальным омедненным ротором вместо якоря, электромагнитную муфту (ЭМ) и датчик оборотов (датчик частоты вращения), осциллограф. Питается РУ напряжением 40 В и частотой до 500 Гц от аналогичных АЭА с регулированием со стороны питания двигателя постоянного тока. Для имитации режима работы МЭД при стыковке, после разгона двигателя до частоты 8...9 тысяч оборотов в минуту питание отключается и включается ЭМ, соединяющая валы двигателя и МЭД. Сигнал с датчика частоты вращения подается на осциллограф *Rigol DS 1054 Z*. Для оценки эффективности МЭД в его специфическом режиме работы, кривая выбега дифференцируется соответствующей опцией *Rigol*, и в точке максимума производной умножается (масштабируется) на коэффициент, пропорциональный суммарному моменту инерции роторов: двигателя + МЭД + ЭМ, что дает пиковое значение развиваемого МЭД тормозного момента. *Rigol* позволяет записывать полученные кривые, анализировать их визуально, что очень важно при многочисленных отладочных пробах и получать цифровые значения диагностических характеристик. Магнитное поле на наружной поверхности МЭД определялось миллитесламетром ТПУ-05. В качестве физической модели для отработки методики диагностирования использовались «технологические» МЭД-4 зав. № 120301-С, опытный образец по типу МЭД-6 и тормоз оригинальной конструкции [3]. Для исследования влияния намагниченности на поверхности машины на момент на валу технологический демпфер подвергался частичному размагничиванию на специальной лабораторной установке.

Картина внешнего поля МЭД-4 имеет сложную форму, обусловленную геометрией поверхности. В частности, установлено, что наиболее информативными являются пазы под стяжные шпильки и зона закрепления датчиков, соответственно, должна располагаться над ними. Установлено также, что, там, где рельеф поверхности имеет перепады уровней, как бы образуя «полюса», индукция внешнего поля выше. Определялось влияние неоднородной намагниченности, которое проявляется в относительном смещении полого

немагнитного ротора относительно статора. Для решения задачи неоднородное магнитное поле представляется в виде n областей, в пределах которых намагниченность однородная и тогда задача сводится к определению относительного смещения центра масс системы рис. 1.

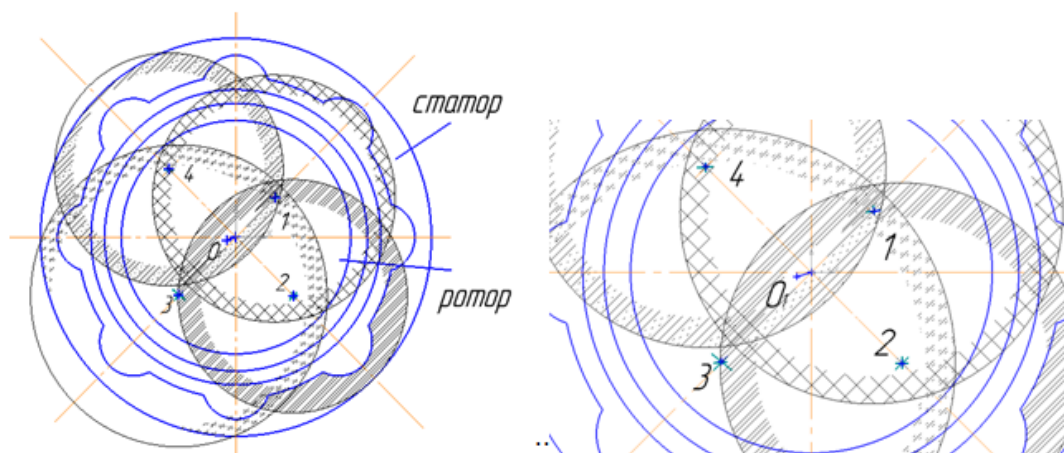


Рис. 1. К определению смещения магнитопроводов:
1, 2, 3, 4 – области однородной намагниченности, O_1 – центр масс системы

Для диагностики перед монтажом или оценки качества при длительном хранении МЭД используется статическая картина поля, исследованию которой в основном было посвящена данная работа. Определялись зависимости момента на валу МЭД при различных уровнях намагниченности на поверхности в относительных единицах. Создаваемые при этом таблицы и графики используются для оценки МЭД аналогичных конструкций и магнитных материалов. Для оценки динамики изменения момента из-за влияния токов ротора на первичное поле и, соответственно, внешнее поле, в настоящее время разрабатываются аппаратные средства и методики с использованием *HANDYSCOPE HS3*. Это особенно актуально для МЭД с электромагнитным возбуждением с индуктором из магнитомягких материалов.

Библиографический список

1. Саттаров Р.Р., Исмагилов Ф.Р., Хайруллин И.Х., Пашали Д.Ю. Теория демпфирующих электромеханических преобразователей с распределенной вторичной средой. М.: Машиностроение, 2010. 327 с.
2. Сыромятников В. С. 100 рассказов о стыковке и о других приключениях в космосе и на Земле. Часть 1: 20 лет назад. М.: Логос, 2003. – 568 с.
3. Пашали Д. Ю. Диагностика электромеханических преобразователей по внешнему магнитному полю: дис. канд. техн. наук. Уфимск. гос. техн. университет, Уфа, 2004.
4. Сыромятников В.С., Хайруллин И.Х., Афанасьев Ю.В. Электромагнитный тормоз // АС № 936266 СССР. Оpubл. 15.06.82. Бюллетень № 22.

© Бывальцев А.Е., 2025

Д.И. КИЕКБАЕВ
dinarkiek@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Р. ФАРРАХОВ

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕРТИКАЛИЗАТОРА

Аннотация: в данной статье рассматриваются элементы электропривода вертикализатора и определяется их оптимальный выбор.

Ключевые слова: вертикализатор; электропривод; электропитание; электродвигатель; передаточное устройство.

По данным на 30 марта 2021 года более 600 тыс. россиян имеют нарушения опорно-двигательного аппарата (НОДА) [1]. С начала 2025 года родилось приблизительно 1,1 млн. детей [2]. Согласно данным Министерства здравоохранения РФ за 2022 год, частота детского церебрального паралича (ДЦП) среди доношенных детей составляет 2,2–3,3 случая на 1000 новорожденных, а среди недоношенных – 9–24 на 1000 [3, 4]. Из них только 45% детей могут ходить самостоятельно [4]. Это говорит о том, что ежегодно множество россиян подвержены заболеваниям, связанным с низкой физической активностью, и нуждаются в поддержании и развитии организма в естественном положении – стоя, что может обеспечить вертикализатор.

Вертикализатор – вспомогательное устройство, позволяющее больным в период восстановления вследствие травмы принимать вертикальное положение для профилактики негативных последствий от длительного пребывания в сидячем или лежащем положениях [5]. На рисунке 1 изображены возможные положения вертикализатора.



Рис. 1. Положения вертикализатора

Актуальность исследования, согласно [6], обусловлена тем, что вертикализатор:

- оказывает поддержку физическому и психологическому здоровью;
- создает более благоприятные условия для восстановления организма и профилактики всевозможных осложнений: позволяет костям и мышцам находиться под естественной нагрузкой для препятствия развитию остеопороза и атрофии мышц;
- стимулирует кровообращение для восстановления и поддержания сосудов в тонусе, снижает риск возникновения отеков и пролежней;
- обеспечивает психологический комфорт, имитируя условия повседневной жизни в период до получения травмы, создавая возможность стоять на уровне глаз собеседника, общаться с людьми и просто сменить позу, что снижает влияние на психику из-за вынужденной изоляции;
- позволяет перемещаться, что расширяет возможности для активности и психологической разгрузки, например, выйти на прогулку, пусть и с посторонней помощью;
- важен для детей с НОДА, например, при ДЦП, так как способствует улучшению физического состояния, функционирования внутренних органов, развитию социальных навыков и значительно повышает качество жизни.

Электропривод вертикализатора (далее – ЭВ) – это электротехническая система, связывающая источник электроэнергии и технологический процесс, и включает в себя силовую, преобразующую электрическую энергию в механическую, и управляющую часть, которая обеспечивает контроль и управление переменными электропривода. Рассмотрим только следующие элементы силовой части: источники электропитания (ИЭ), приводные электродвигатели (ЭД) и передаточные устройства (ПУ). На рис. 2 изображена блок-схема электропривода, где ИМ – исполнительный механизм, осуществляющий изменение положения человека. Его функцию может выполнять ПУ.

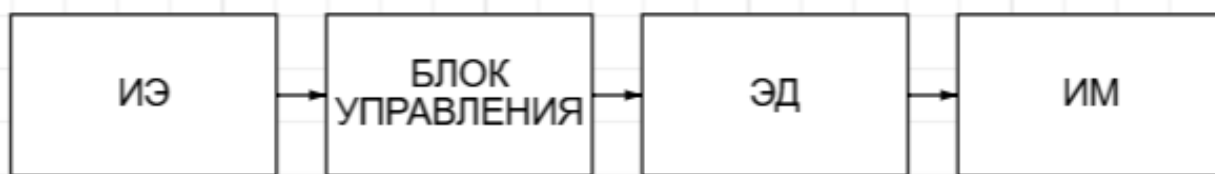


Рис. 2. Блок-схема электропривода

В качестве ИЭ может служить электросеть (далее – сеть) или аккумуляторные батареи (АКБ) [7]. В таблице 1 дано сравнение ИЭ.

Электроэнергию сети следует использовать в том случае, если вертикализатор не предназначен для перемещений, например, для реабилитации в специальных учреждениях.

Таблица 1

Сравнение источников электропитания ЭВ

ИЭ	Преимущества	Недостатки
Сеть	Простое техническое обслуживание, относительно низкие первоначальные затраты, высокая надежность при стабильной сети	Мобильность вертикализатора будет ограничена длиной кабеля и наличием розетки, при отключении электричества прекращается питание, не энергоэффективна, так как рекуперированная энергия торможения обычно рассеивается впустую
АКБ	Высокая мобильность, работа не зависит от состояния сети, может накапливать энергию за счет рекуперации торможением	Стоимость выше из-за стоимости АКБ и системы управления, требует контроля состояния и периодической замены АКБ, надежность зависит от состояния АКБ и ее срока службы

Более распространен вариант применения, при котором в течение дня положение человека меняется не часто и, если предполагается передвижение человека вместе с аппаратом там, где может не оказаться розетки. В этом случае предпочтительнее будет использовать электропитание от АКБ.

Электродвигатель – основной элемент ЭВ, который создает момент на валу и передает его механизму, который и будет приводить человека в вертикальное положение. В таблице 2 дано сравнение приводных двигателей, используемых для вертикализаторов [8-11].

Таблица 2

Сравнение приводных двигателей, используемых для ЭВ

Приводные ЭД	Преимущества	Недостатки
Щеточный двигатель постоянного тока (ДПТ)	Простота управления (ШИР), низкая стоимость, простота ремонта	Низкая надежность и срок службы, сравнительно низкий КПД, высокий уровень шума, низкая точность позиционирования, износ щеток требует периодического регулярного обслуживания.
Бесщеточный двигатель постоянного тока (BLDC) (БДПТ)	Высокая надежность, плавный ход, высокий КПД (>85%), низкий уровень шума, высокая точность позиционирования	Стоимость выше аналога с щеточно-коллекторным узлом, требует наличие системы управления
Шаговый двигатель (ШД)	Высокая надежность, высокая точность позиционирования, простая позиционная логика без энкодера, высокая удерживающая способность при отключенном питании за счет удерживающего момента	Отсутствие обратной связи, вибрации и меньшая плавность на низких скоростях, меньшая энергоэффективность, возможность пропуска шага под нагрузкой
Линейный двигатель (ЛД)	Высокая надежность, низкий уровень шума, плавный ход, высокая точность позиционирования, высокий уровень энергоэффективности	Высокая стоимость, требует наличие системы управления

ДПТ и ШД не стоит применять в ЭВ, поскольку могут быть небезопасными, а также причинять дискомфорт своим шумом и вибрациями.

ЛД может неоправданно увеличить стоимость всего устройства, так как для выполнения вертикализатором своей задачи нет нужды в столь высоком уровне позиционирования.

БДПТ выглядит привлекательнее аналогов благодаря своей эффективности, плавности и бесшумности. Поэтому его недостаток в виде необходимости системы управления выглядит менее значительным.

Приводной механизм преобразует вращательное движение в поступательное, способен изменять величину момента за счет изменения частоты вращения ЭД. Он должен быть энергоэффективным, безопасным и комфортным во время своей работы, так как это влияет на работу всего электропривода. В таблице 3 дано сравнение передаточных устройств вертикализатора [12-17].

Таблица 3

Сравнение передаточных устройств ЭВ

ПУ	Преимущества	Недостатки
Шарики-винтовая передача (ШВП)	Высокая надежность, низкий уровень шума, плавный ход и минимальный люфт, высокий КПД (больше 90%)	Высокая стоимость, отсутствует самоторможение
Трапецеидальный винт (ТВ)	Высокая надежность, способен к самоторможению, низкий уровень шума, низкая стоимость	Сравнительно низкий КПД (40–85%), наличие небольших пульсаций и люфта, нагревается
Червячная передача (ЧП)	Высокая надежность, возможность самоторможения, низкий уровень шума, плавный ход	Низкий КПД (50–70%), меньшая долговечность при интенсивной эксплуатации, риск заклинивания
Зубчато-реечная передача (ЗРП)	Высокий КПД, высокая надежность	Возможен люфт и шум, отсутствует самоторможение, подвержен износу

Несмотря на свои достоинства, в том числе способность к самоторможению при определенном угле, ТВ и ЧП имеют низкий КПД, из-за чего батарея будет быстро разряжаться и изнашиваться.

ШВП и ЗРП имеют высокий уровень КПД, но не способны к самоторможению. Однако первый имеет преимущество в виде тихой и плавной работы и меньшему износу. Проблему отсутствия самоторможения можно решить с помощью отдельного электромагнитного тормоза.

Сравнительный анализ элементов ЭВ проведен и оптимальным будет выбрать БДПТ, питаемый от АКБ и соединенный ШВП.

Каждый элемент ЭВ имеет значительную роль в комфортной реабилитации пациента и должен обеспечивать безопасность во время эксплуатации, но при этом быть финансово доступным. Питание от АКБ позволяет пациентам проходить восстановление без дискомфорта от вынужденной изоляции. БДПТ обеспечивает плавную и тихую работу, имея на высоком уровне соотношение цена-качество. А ШВП позволяет практически бесшумно передавать момент с двигателя на исполнительный механизм, поднимая вес человека с достаточной для безопасности скоростью.

Библиографический список

1. Минтруд: более 600 тысяч россиян живут с нарушениями опорно-двигательного аппарата. [Электронный ресурс] URL: <https://www.interfax-russia.ru/main/mintrud-bolee-600-tysyach-rossiyan-zhivut-s-narusheniyami-oporno-dvigatelno-go-apparata> (дата обращения: 12.10.2025).
2. Число новорожденных в России превысило 1 млн. в 2025 году. [Электронный ресурс] URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7870721> (дата обращения: 12.10.2025)
3. Романюк С.А. Детский церебральный паралич: [Электронный ресурс] // ГЕНОКАРТА Генетическая энциклопедия. 2020. – URL: https://www.genokarta.ru/disease/Detskij_cerebralnyj_paralich (дата обращения: 12.10.2025)
4. ДЦП в России: что говорят цифры и факты. [Электронный ресурс] URL: <https://dzen.ru/a/aLBtFlZrLSSw4Kdk> (дата обращения: 12.10.2025)
5. Вертикализатор. [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Вертикализатор> (дата обращения: 12.10.2025)
6. Инвалидность – это не приговор: как технологии помогают жить активнее. Мастерская «Отче Савва»: [Электронный ресурс] URL: <https://o-savva.ru/stati/informaciya/invalidnost-eto-ne-prigovor-kak-tehnologii-pomogayut-jit-aktivnee> (дата обращения: 12.10.2025)
7. Аккумуляторный инструмент или сетевой? [Электронный ресурс] URL: <https://tze1.ru/articles/detail/akkumulyatornyy-instrument-ili-setevoy/> (дата обращения: 12.10.2025)
8. Силантьев А. Е. Сравнение бесконтактных двигателей постоянного тока с традиционными двигателями // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции (г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.) [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – 356 с. – URL: <https://uust.ru/digitalpublications/2024/274.pdf> – (дата обращения: 12.10.2025)
9. Бесколлекторные (BLDC) электродвигатели. [Электронный ресурс] URL: https://purelogic.ru/catalog/elektroprivod/beskollektornye_elektrodvigateli_bldc/filter/napryazhenie_pitaniya-is-t24_vdc/moschnost_vt-is-t188_vt/apply/ (дата обращения: 12.10.2025)

10. Часто задаваемые вопросы по шаговым двигателям (FAQ). [Электронный ресурс] URL: <https://darxton.ru/wiki-article/chasto-zadavaemye-voprosy-po-shagovym-dvigatelyam-faq/#advantages> (дата обращения: 12.10.2025).
11. Линейные двигатели: новая тенденция в автоматизации. [Электронный ресурс] URL: <https://dzen.ru/a/ZbtGJHB04ROQdZAU> (дата обращения: 12.10.2025)
12. Полное руководство по техническим характеристикам шарико-винтовых пар. [Электронный ресурс] URL: <https://inner-moscow.ru/blog/articles/polnoe-rukovodstvo-po-tekhnicheskim-kharakteristikam-shariko-vintovykh-par/> (дата обращения: 10.10.2025)
13. Червячная передача. [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Червячная_передача#Достоинства_и_недостатки (дата обращения: 12.10.2025)
14. Червячная передача: что такое и как работает. [Электронный ресурс] URL: <https://drives.ru/stati/chto-takoe-chervyachnaya-peredacha-reduktora/> (Дата обращения: 12.10.2025)
15. Трапецеидальный винт: устройство, типы и применение. [Электронный ресурс] URL: <https://inner.su/articles/trapetseidalnyy-vint-ustroystvo-tipy-i-primeneniye/> (Дата обращения: 12.10.2025)
16. Трапецеидальные резьбовые валы и гайки: полное руководство по выбору и применению. [Электронный ресурс] URL: <https://inner-moscow.ru/blog/articles/trapetseidalnye-rezbovyie-valy-i-gayki-polnoe-rukovodstvo-po-vyboru-i-primeneniyu/?ysclid=mgkmqt02vd265496531> (дата обращения: 12.10.2025)
17. Зубчато-Реечные Передачи. «STANOTEX» [Электронный ресурс] URL: <https://www.stanotex.ru/zubchato-reechnye-peredachi/> (дата обращения: 12.10.2025).

© Киекбаев Д.И., 2025

И.А. ЩЕКАТУРОВ

sekaturovila@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ МОРСКОГО КЛИМАТА

Аннотация: рассматриваются методы защиты трансформаторов в условиях соленого тумана, повышенной влажности, солнечной радиации и грибковых образований (плесени).

Ключевые слова: трансформатор силовой, климат морской, долговечность, коррозия, защита антикоррозионная, исполнение ОМ, герметизация, покрытия лакокрасочные, степень защиты IP, ввод полимерный.

Нашу страну омывает множество морей и океанов, и в этих районах также требуется питание: для портов, маяков, обычных жилых районов и т.д. Для таких целей придумали климатическое исполнение ОМ (общеклиматический морской исполнение), положение которого закреплено в [1]. Это исполнение обеспечивает защиту от высокой влажности, соленого тумана, солнечной радиации и грибковых образований. Чтобы обеспечить такую защиту используют множество методов, которые рассмотрим ниже.

Актуальность данного исследования обусловлена:

- большой ролью морского транспорта в экономике и обороне страны;
- экономическим ущербом от коррозии и снижение срока службы.

Основными факторами агрессивной морской среды, с которыми нужно бороться являются:

- высокая относительная влажность, которая приводит к гидролизу изоляции (разрушению) и ускоренной коррозии, как корпуса трансформатора, так и магнитопровода и обмоток;

- солевые аэрозоли – это природное явление, при котором мельчайшие частицы морской воды, обогащенные минералами и микроэлементами, поднимаются в воздух. Такое явление приводит к электролитической коррозии, образованию проводящей пленки, которая может спровоцировать пробой на поверхности трансформатора;

- циклические температурные явления, из-за которых внутри трансформатора может образовываться конденсат;

- ультрафиолетовое излучение, которое приводит к деструкции полимерных материалов.

Разобьем рассмотрение мер защиты трансформатора на разделы: защита активной части и изоляционной системы, защита бака и внешних конструкций

от коррозии, защита внешней изоляции (вводов) и вспомогательного оборудования.

Главный фактор, с которым нужно бороться при проектировании защиты активной части трансформатора является влага внутри бака. Основным методом защиты является установка сильфонного (гофрированного) расширителя, который компенсирует изменение объема масла при его нагреве и охлаждении, полностью исключая контакт масла с атмосферным воздухом. Сильфонный расширитель (СР) (рис. 1) [2] состоит из металлического сильфона (МС) (гофры), представляющего собой герметическую камеру с упругими стенками, способную значительно сжиматься и растягиваться.



Рис. 1. Сильфонный расширитель

МС помещен в защитный кожух и соединен с основным баком трансформатора. Рабочий цикл состоит из двух этапов нагрев и охлаждение. При нагреве масло в баке расширяется. Его избыток поступает в полость СР. Давление растет, и МС сжимается (как гармошка), освобождая место для поступающего масла. При охлаждении масло сжимается, объем уменьшается, давление в системе падает. Запасенная энергия упругости МС заставляет его растягиваться, вытесняя масло обратно в основной бак и поддерживая его заполненным. Весь процесс происходит в замкнутой, герметичной системе. Внутренний объем системы (бак + МС) меняется за счет деформации МС, а не за счет поступления или вытеснения внешнего воздуха. Наглядная аналогия между

открытым баком и СР: если открытый бак это как стакан с водой, стоящий на столе. Вода постоянно испаряется и поглощает газы из воздуха, то СР это как герметичный пластиковый пакет с водой, который вы сжимаете и разжимаете рукой. Объем воды внутри меняется, но ни капли не испаряется и ничего извне не попадает.

Также для защиты активной части стоит использовать улучшенную систему осушки адсорбционными фильтрами (дыхательные клапаны с силикагелем) и улучшенной технологией вакуумирования, т.к. глубокий вакуум при заправке масла обеспечивает удаление воздуха и влаги внутри бака.

Чтобы повысить стойкость и долговечность изоляции можно использовать изоляционные материалы с повышенным классом нагревостойкости (F , H) для компенсации старения в условиях влажности, например эпоксидные смолы и модифицированные полиэфирные материалы для класса F и кремнийорганические соединения (силиконовые эластомеры), а также композиты из стекловолокна и слюды с силиконовыми связующими.

Также для повышения стойкости изоляции можно использовать ингибиторы коррозии в трансформаторном масле, такие как бензотриазол, хроматы, нитриты и т.д. Анодные ингибиторы образуют на поверхности металла тонкую оксидную пленку, которая препятствует дальнейшему окислению и разрушению. Катодные ингибиторы замедляют процессы, происходящие на катоде металлической поверхности, тем самым снижая общую скорость коррозии.

Выбор материала бака является ключевым фактором защиты от коррозии. Приведем несколько примеров таких материалов. Нержавеющая сталь обеспечивает максимальную стойкость и долговечность, но главный недостаток высокая цена. В качестве альтернативы нержавеющей стали можно предложить углеродистую сталь с антикоррозионным покрытием, которая чуть хуже по показателям защиты, но намного дешевле.

Так же в качестве защиты бака можно использовать многослойную систему лакокрасочных покрытий. Первый этап подготовка поверхности, которая заключается в абразивоструйной очистке до степени $Sa\ 2\frac{1}{2}$, при которой с металла практически полностью удаляются окалина, ржавчина и старые покрытия, допуская только единичные тонкие пятна. Второй этап грунт-покрытие эпоксидными и цинк-силикатными праймерами (катодная защита). Эпоксидные праймеры обеспечивают высокую адгезию и стойкость к механическому воздействию, в то время как силикаты цинка предоставляют отличную химическую стойкость, термостойкость и износостойкость, а также подходят для ремонтных работ. Третий этап финишное покрытие полиуретановыми и эпоксидными эмалями, стойкими к УФ и истиранию.

Альтернативными или же дополнительными методами можно назвать термодиффузионное цинкование, которое обеспечивает высокую стойкость для крепежа и мелких деталей и металлизацию (напыление цинка/алюминия) для крупных конструкций. Так же дополнительным методом защиты можно назвать

конструкционные меры, такие как уклоны, отсутствие застойных зон и защитные кожухи.

Защита вводов заключается в правильном выборе материала, из которого они изготовлены. Стоит выбрать вводы, сделанные из полимеров с большей длиной, чем фарфоровые, т.к. полимерные вводы превосходят фарфоровые благодаря высокой грязестойкости, обусловленной сохранением гидрофобности поверхности, меньшему весу (до 10 раз легче) и, как следствие, упрощению транспортировки и монтажа. Также полимерные материалы обладают большей электрической прочностью и устойчивы к воздействию ультрафиолета. Так же вводы трансформатора можно обработать гидрофобным покрытием. Гидрофобные покрытия создают поверхностный слой, который отталкивает воду, пыль, грязь и солевые растворы. Благодаря гидрофобности, вода и загрязнения не смачивают поверхность ввода, что исключает образование проводящих дорожек и, как следствие, перекрытия и утечки тока. Защита изоляции от внешних воздействий увеличивает срок службы трансформатора и обеспечивает его надежную работу, особенно в условиях загрязненной атмосферы или при эксплуатации вблизи морских побережий.

При проектировании защиты систем охлаждения стоит обратить внимание на использование коррозионностойких материалов для радиаторов и вентиляторов (алюминиевые сплавы, пластик) и отдать предпочтение системам закрытого цикла с принудительной циркуляцией воздуха и масла.

Стоит использовать корпуса с высокой степени защиты, такой как *IP55* или *IP65* [3]. *IP55* означает защиту от пыли (частичную) и водяных струй с любого направления, в то время как *IP65* обеспечивает полную пыленепроницаемость и такую же защиту от водяных струй с любого направления, но в более интенсивных условиях. Как еще один способ защиты от коррозии можно использовать нержавеющие виды крепежа.

Эффективная защита достигается тщательным проектированием, где каждый элемент системы вносит вклад в общую защиту трансформатора в условиях морского климата.

Библиографический список

1. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов.
2. Metal expansion bellow joint for Power Transformers [Электронный ресурс] // URL: http://www.aresmetal.com/metal_expansion_bellow.asp (дата обращения: 21.10.2025).
3. ГОСТ 14254-2015 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP).

© Щекатуров И.А., 2025

В.К. ПИХТОВНИКОВ

vpklik@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент З.Г. ГАБИДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

СИНХРОННЫЙ ГЕНЕРАТОР КОНТЕЙНЕРНОГО ТИПА

Аннотация: в статье проведен анализ конструкции синхронного генератора и обосновано преимущество использования синхронного генератора контейнерного типа, проявляющееся в их мобильности и высокой степени защиты от внешних воздействий.

Ключевые слова: синхронный генератор; дизельная электростанция; контейнерный тип

Синхронный генератор [1] – это двигатель, который преобразует механическую энергию вращения в электрическую энергию переменного тока. Особенности конструкции: синхронный генератор состоит из якоря – неподвижного статора и вращающегося ротора – индуктора. Конструкция статора не отличается от конструкции статора, используемого в асинхронных установках: в пазах также расположены обмотки катушки, сдвинутые друг относительно друга на угол 120° (рис. 1).

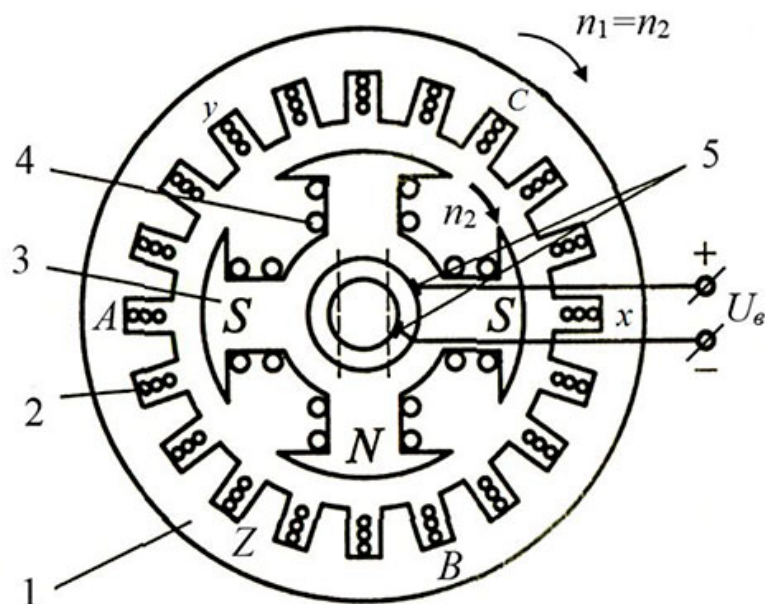


Рис. 1. Элементы конструкции синхронного генератора:
1 – статор; 2 – обмотка статора; 3 – ротор; 4 – обмотка возбуждения;
5 – контакты-щеточки

Почему именно синхронный генератор контейнерного типа? В городской местности электрические сети проходят централизованно, и вероятность возникновения поломок сводится к минимуму. Поэтому прежде всего необходимо уделить внимание загородным поселкам и участкам, особенно тем, которые находятся на Крайнем Севере. Для эксплуатации в таких климатических условиях следует разработать электроустановку, способную обеспечивать стабильное электроснабжение потребителей, расположенных в труднодоступных местах.

В статье рассмотрены конкретные примеры дизельных электростанций и обозначены положительные качества дизель-генератора [3] при эксплуатации в труднодоступных условиях.

Населённые пункты, которые находятся вдали от цивилизации, запитываются электричеством от независимых генераторов. Автономное электроснабжение [4] обеспечивается дизельными генераторами (рис. 2).



Рис. 2. ДЭС для энергоснабжения отдаленных населенных пунктов

В результате аварий и экстренных ситуаций возникают проблемы с отключением электроэнергии. В связи с этим нужно немедленно реагировать на данные происшествия и в короткие сроки устранять их. Для этого существуют дизельные генераторы в передвижном исполнении (рис. 3). Основным преимуществом является их мобильность. Мощность таких генераторов варьируется в диапазоне от 16 до 400 кВт.



Рис. 3. Мобильная ДЭС для аварийных и спасательных служб

Для выбора генератора [5], более подходящего для работы в критических условиях, проведено сравнение двух моделей: АД-75С-Т400-1РНМ11 и АД-60С-Т400-2РНМ11.

У генераторов совпадают такие характеристики, как напряжение (400 В), коэффициент мощности (0,8), количество фаз (оба трехфазные), а также работа на одной частоте (50 Гц). Помимо схожести, есть и различие исходя из которых был выбран генератор на более высокую мощность.

Первым отличием является более высокая резервная мощность. У генератора АД-75С-Т400-1РНМ11 она составляет 82,5 кВт, у АД-60С-Т400-2РНМ11 – 66 кВт. В ситуациях, когда появляется дополнительная нагрузка, первый генератор является более подходящим. Вторым отличием заключается в наличии шести цилиндров и большего рабочего объема более мощном двигателе АД-75С-Т400-1РНМ11. Это позволит добиться высокой производительности и долговечности в работе. Ещё одним отличием является наличие электростартера АД-75С-Т400-1РНМ11. С помощью него можно запускать генератор при низких температурах или в условиях низких нагрузок.

Сравнение позволяет сделать вывод, что генератор АД-75С-Т400-1РНМ11, благодаря таким факторам как резервная мощность, мощность двигателя и простота в запуске больше подходит для работы в критических условиях, где важны надёжность и способность выполнять работу на высоких нагрузках. Также в заключение следует отметить, что генераторы контейнерного типа являются незаменимым решением для стабильного энергоснабжения удаленных поселений и в условиях чрезвычайных ситуаций. Благодаря своей конструкции и мобильности, генераторы превосходно подходят для автономной работы в труднодоступных районах, где отсутствует или нестабильно централизованное электропитание.

Библиографический список

1. Синхронный генератор переменного тока: устройство и принцип работы. URL <https://generator-energy.ru/company/articles/sinhronnyj-generator-ustrojstvo-i-princip-raboty/> (дата обращения 07.11.2025).
2. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: учеб. / А. И. Вольдек, В. В. Попов [и др.]. – Санкт-Петербург: Питер, 2008. – 319 с.
3. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: учеб. / А. И. Вольдек, В. В. Попов [и др.]. – Санкт-Петербург: Питер, 2007. – 349 с.
4. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы и главы шестого и седьмого изданий. – Москва: ЭНАС, 2019. – 672 с. – ISBN 978-5-4248-0162-4. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/173340> (дата обращения: 07.11.2025).
5. Генераторы синхронные. URL <https://www.d-system.ru/generators/> (дата обращения 07.11.2025).

© Пихтовников В.К., 2025

А.Ф. НУРГАЛИЕВ

algiz.nurgaliev@mail.ru

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Т.Р. ТЕРЕГУЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

СИНХРОННЫЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КАТЯЩИМСЯ РОТОРОМ ДЛЯ ИНВАЛИДНОЙ КОЛЯСКИ

Аннотация: в данной статье рассматривается возможность использования синхронного реактивного двигателя в качестве безредукторного тихоходного малоинерционного привода для инвалидной коляски. Произведен расчет электромагнитного момента для данного двигателя с катящимся ротором, необходимый для данной системы.

Ключевые слова: Синхронный реактивный двигатель, двигатель с катящимся ротором (ДКР), инвалидная коляска, безредукторный привод, тихоходный двигатель, электромагнитный момент, силы одностороннего магнитного притяжения (СОМП), униполярное подмагничивание.

Актуальность темы обусловлена тем, что использование в системах, где наиболее важными параметрами являются хорошие энергетические показатели и маленькие скорости вращения, наиболее целесообразно применять тихоходные малоинерционные двигатели с катящимся ротором в отличие от быстроходных двигателей с редуктором с большим количеством передаточных звеньев. Для двигателей с катящимся ротором для уменьшения скорости в системах не требуется наличие редуктора. К тому же отсутствие редуктора в данном двигателе повышает его надежность, уменьшает его массогабаритные характеристики.

Первые исследования двигателя с катящимся ротором (ДКР) были начаты в 1944 г. Москвитиным, а позднее конструкции ДКР и процессы электромагнитного преобразования энергии в них наиболее полно освещены в работах Шон Р., Бертинов А.И, Борзяк Ю.Г., Варлей В.В., Зайков М.А., Наний В.П., а также в работах G. Kaminski, H. Wrotek, A. Viviani и других. Однако среди современного ряда предлагаемых электродвигателей (двигателей постоянного тока, асинхронных и синхронных двигателей, шаговых двигателей, линейных двигателей) Вы с трудом найдёте ДКР.

ДКР относятся к синхронным реактивным двигателям, основным отличием которых является отсутствие обмотки на роторе. Это тихоходные электродвигатели с высоким вращающим моментом и низкой частотой вращения вала. Другой принципиальной особенностью ДКР, отличающей их от других машин, является эксцентричное расположение ротора в расточке статора.

Вращающий момент здесь создается за счет сил одностороннего магнитного притяжения (СОМП).

Основным достоинством данного двигателя, конечно же является его использование в безредукторном электроприводе. При питании данного двигателя частотой 50 Гц скорость выходного вала может достигать от 2 до 200 об/мин. Безредукторный электропривод с двигателем с катящимся ротором будет иметь хорошие динамические показатели из-за того, что приведенный момент инерции ротора мал.

Время разгона ДКР при частоте питающей сети 50 Гц составляет 0,01 сек. Реверс двигателя происходит переключением следования фаз за время примерно равным 0,015 – 0,025 сек.

Применение двигателя с катящимся ротором в качестве приводного двигателя в системах автоматизированного электропривода является рациональным, так как при отключении от питания по переменному току он развивает значительный тормозной момент, который будет превышать номинальный электромагнитный момент. И в этом случае в использовании тормозных муфт и самотормозящихся кинематических звеньев нет никакой необходимости.

Также двигатель с катящимся ротором имеет достаточно высокие энергетические показатели. Относительно высокие значения коэффициента мощности, большие значения к. п. д., примерно равные значениям к. п. д. обычных исполнительных двигателей такой же мощности. Наряду с хорошими энергетическими показателями ДКР имеет кратность пускового тока порядка 2 – 3.

В качестве еще одного существенного достоинства следует отметить, что ДКР не имеет подшипников в общепринятом смысле. Обычно обкатывание происходит с помощью специальных катков по специальным направляющим, жестко закрепленным на роторе, а между активными частями ротора и статора предусматривают минимальный зазор δ' . Для повышения износостойкости поверхностей катков, их выполняют из износостойкой стали.

На рис. 1 приведена одна из наиболее распространенных конструктивных схем ДКР. Цифрой 1 обозначен статор, в пазах которого имеется m-фазная двухполюсная обмотка 2. Питается она от сети переменного тока и служит для создания в двигателе вращающегося магнитного поля.

Ротор 8, набранный из листов электротехнической стали, насаженный на сердечник 4 из магнитомягкого материала. На роторе отсутствует обмотка.

Цифрой 3 обозначены две тороидальные катушки, расположенные по торцам статора. Питаются они от сети постоянного тока, и служат для создания в двигателе униполярного подмагничивания.

Магнитопровод поперечного униполярного потока состоит из двух шихтованных пакетов, расположенных на торцах статора 6 и двух шихтованных пакетов 5, которые расположены по торцам на сердечнике ротора, сердечника и корпуса машины.

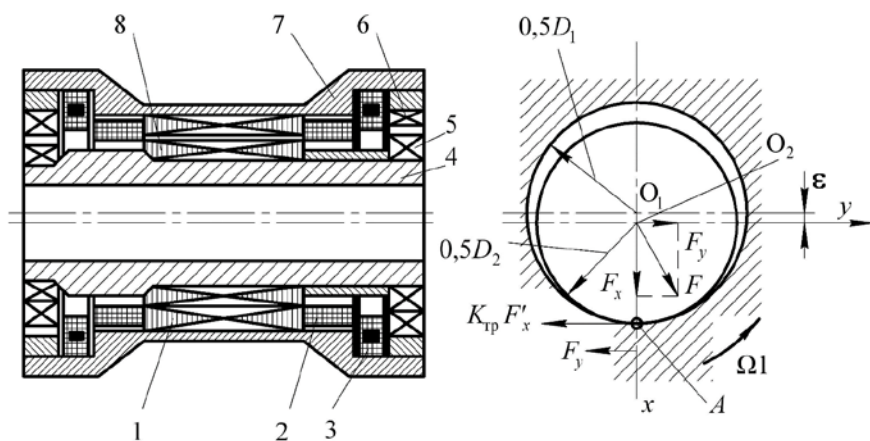


Рис. 1. Конструктивная схема синхронного ДКР с катушками униполярного подмагничивания

Расчет необходимого момента, который должен развивать двигатель:

Расчетные данные:

Общий вес (G): 200 кг = 2000 Н,

Крутой уклон (α): допустим 10 % (что соответствует углу $\sim 5,7^\circ$),

Диаметр колеса (D): стандартное колесо коляски 0,6 м ($R = 0,3$ м),

Коэффициент сопротивления качению (f) для асфальта 1 %.

1. Сила для преодоления уклона:

$$F_{\text{уклона}} = G \times \sin \alpha,$$

$$F_{\text{уклона}} = 2000 \times \sin(5,7^\circ) = 200 \text{ Н},$$

2. Сила для преодоления трения качения:

$$F_{\text{качения}} = G \times f,$$

$$F_{\text{качения}} = 2000 \times 0,01 = 20 \text{ Н},$$

3. Суммарная сила тяги:

$$F_{\text{тяги}} = F_{\text{уклона}} + F_{\text{качения}},$$

$$F_{\text{тяги}} = 200 + 20 = 220 \text{ Н},$$

4. Требуемый крутящий момент на одном колесе:

$$M = F_{\text{тяги}} \times R,$$

$$M = 220 \times 0,3 = 66 \text{ Н} \times \text{м}.$$

Электромагнитный момент определяется по формуле [1, формула 3-56, с.104]:

$$M = \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} \times \lambda \times D_1^3 \times k_{\text{об}} \times A \times B_{01} \times \sin(\beta),$$

λ – это конструктивный коэффициент,

$$\lambda = \frac{L}{D_1},$$

где L – длина активной части статора,

D_1 – диаметр расточки статора;

$k_{\text{об}}$ – обмоточный коэффициент;

A – линейная нагрузка;

$$A = \frac{A_m}{k_{об} \times \sqrt{2}};$$

$$A_m = \frac{0,9_m \times I \times \omega_{я.э.}}{D_1},$$

где I и $\omega_{я.э.}$ действующее значение тока и витков в фазе обмотки;

B_{01} - магнитная индукция;

β – это угол, определяющий фазу волны линейной нагрузки.

$$\lambda = \frac{0,1}{0,2} = 0,5;$$

$$A_m = \frac{0,9_m \times 80 \times 73}{0,2} = 26280 \text{ А/м};$$

$$A = \frac{26280}{0,92 \times \sqrt{2}} = 20200 \text{ А/м};$$

Следовательно, электромагнитный момент равен:

$$M = \frac{\pi}{2 \times \sqrt{2}} \times 0,5 \times 0,2^3 \times 0,92 \times 20200 \times 0,8 \times \sin(90) = 66 \text{ Н/м}.$$

Полученное значение электромагнитного момента удовлетворяет нашим требованиям.

Вывод

Проведенное исследование и расчеты синхронного реактивного двигателя с катящимся ротором, показывают, что данный двигатель обладает характеристиками, которые подходят для использования в качестве привода для инвалидной коляски. ДКР имеют значительное количество достоинств, что позволяют данному двигателю конкурировать с классическими системами, такие как быстроходные двигатели с редуктором.

К сожалению, данные двигатели с катящимся ротором в наше время не обрели значительного промышленного использования в России, в частности, отсутствием разработанной теории и методов проектирования.

Применяемые сегодня материалы (электротехнические стали, постоянные магниты) имеют лучшие характеристики, чем материалы 20 века, что позволяет вновь взяться за усовершенствование существующих конструкций ДКР.

Библиографический список

1. Бертинов А.И. Электрические машины с катящимся ротором / Бертинов А.И., Варлей В.В. – М.: Энергия, 1969. – 200 с.
2. <https://studfile.net/preview/9439677/page:18/>.

© Нургалиев А.Ф., 2025

А.А. ГАЛИЕВА, А.С. СИДОРОВ, Я.Е. СМАГИНА
sanyasidorov2004@mail.ru,
Yana21112@yandex.ru,
alinka-malinka.a.01@mail.ru

Уфимский университет науки и технологий

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОДЕРНИЗАЦИИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Аннотация: ключевой задачей эксплуатации асинхронных двигателей является поиск наиболее эффективного метода снижения энергопотребления для минимизации эксплуатационных расходов.

Ключевые слова: асинхронный двигатель; модернизация электродвигателей; энергоэффективность; оптимизация конструкции.

Асинхронный двигатель (АД) – это самый распространенный тип электродвигателей, являющийся основой для большинства промышленных механизмов (рис. 1). Его популярность объясняется высокой надежностью, стойкостью к перегрузкам, отсутствием искрения и простотой в обслуживании.

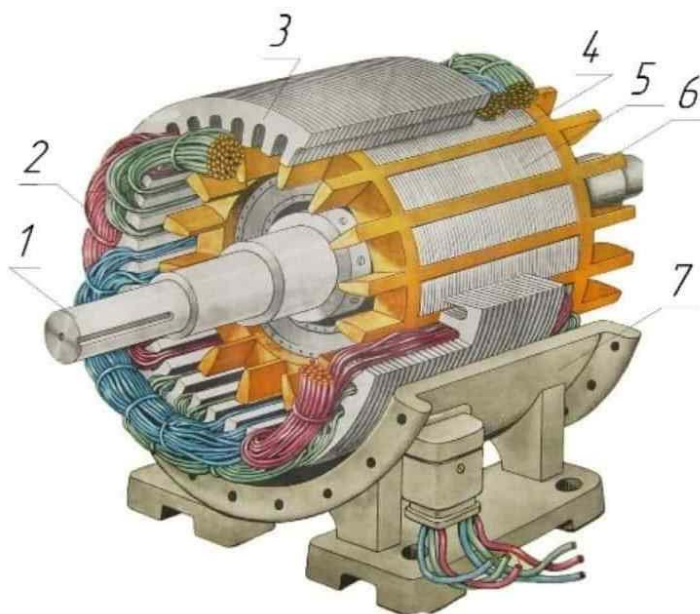


Рис. 1. Конструкция асинхронного двигателя:
1 – вал, 2 – обмотка статора, 3 – сердечник статора, 4 – «белыча клетка»,
5 – сердечник ротора, 6 – ротор, 7 – станина

Совершенствование электротехнической продукции направлено на три ключевые цели: качество, конкурентоспособность и рентабельность. Высокое качество — основа успеха на рынке, а конкуренция стимулирует развитие. В

итоге, именно от качества продукции зависит экономическое процветание производителя. Это особенно важно для асинхронных двигателей, играющих ведущую роль в преобразовании электроэнергии в механическое движение.

Основные направления модернизации асинхронных двигателей включают повышение энергоэффективности, увеличение ресурса, снижение уровня шума и регулирование скорости. Эти задачи решаются за счёт оптимизации конструкции, использования специальных материалов и технологий, а также внедрения систем управления.

Повышение энергоэффективности электродвигателей и приводных систем достигается за счет комплекса мер. Одной из ключевых является замена устаревших моделей на современные энергоэффективные, например, двигатели классов IE3 или IE4, которые существенно снижают энергопотребление. Дополнительный эффект дает модернизация конструкции, такая как увеличение доли активных материалов и применение материалов с высокой магнитной и электрической проводимостью.

Важным направлением является оптимизация работы двигателей в системе. Здесь помогает использование частотно-регулируемых приводов (ЧРП), которые позволяют плавно регулировать скорость вращения, адаптируя ее к фактической потребности в производительности и избегая излишнего расхода энергии. Кроме того, для снижения потерь в электрической сети применяются устройства компенсации реактивной мощности. Они уменьшают потребляемый ток во время пуска, что снижает нагрузку на сеть и минимизирует падение напряжения.

Увеличение ресурса электродвигателя обеспечивается за счет комплекса мер, направленных на улучшение условий его эксплуатации и снижение деградации ключевых компонентов. Одним из наиболее эффективных способов является снижение рабочей температуры обмоток, которое достигается путем уменьшения потерь в двигателе. Например, применение системы изоляции с более высоким классом нагревостойкости, такого как F, способно увеличить теоретический ресурс обмотки в 4 раза.

Важнейшую роль играет и защита двигателя от внештатных режимов работы, таких как перегрузка по току, перенапряжения в сети и перегрев. Использование соответствующих защитных устройств значительно увеличивает ресурс не только обмоток, но и подшипников. Дополнительный положительный эффект дает внедрение системы симметрирования напряжения, которая снижает неравномерность фазных напряжений и токов, вызывающую локальные перегревы обмоток и преждевременный износ изоляции. Совокупность этих мер позволяет существенно продлить срок безотказной службы электродвигателя.

Снижение уровня шума электроприводов достигается за счет комплекса мер: установка малошумных подшипников, устранение механических перекосов, использование звукоизолирующих кожухов и применение двигателей с запасом по мощности для работы с пониженной магнитной составляющей шума.

Регулирование скорости осуществляется двумя основными способами. Наиболее гибкое решение – преобразователи частоты (инверторы), обеспечивающие плавное изменение скорости в широком диапазоне. Альтернатива – асинхронные двигатели с переключением полюсов, позволяющие ступенчато регулировать скорость. Оба метода также способствуют снижению шума, минимизируя работу на максимальных оборотах.

Библиографический список

1. Жарикова Т. В. Нетрадиционные пути модернизации асинхронных двигателей средней мощности: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01 / Жарикова Татьяна Владимировна. – Текст: электронный // Российская государственная библиотека: официальный сайт. – URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/6830/1/thesis_tpu-2002-61.pdf (дата обращения: 09.11.2025).
2. Митрофанов С.В. Энергосбережение в энергетике: учебное пособие / С.В. Митрофанов, О.И. Кильметьева: Оренбургский гос. ун-т. - Оренбург: ОГУ, 2015. – 126 с.

© Галиева А.А., Сидоров А.С., Смагина Я.Е., 2025

Р.Р. КАБИРОВ, Н.И. САЛИКАЕВ, Д.И. ФАЗЛЫЕВ
ruslanchik.kabirov@gmail.com

Научный руководитель – канд. техн. наук АВ. СТЫСКИН

Уфимский университет науки и технологий

АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ЗАКРЫТОГО ТИПА ДЛЯ ИМПЕЛЛЕРНОГО НАСОСА

Аннотация: в данной статье рассматривается использование асинхронного двигателя закрытого типа в качестве привода подвижной части насоса (импеллера).

Ключевые слова: асинхронный двигатель, импеллерный насос, импеллер, подшипниковый узел, степень защиты, перекачивание, всасывание.

В мире современных технологий, где требования к надежности, долговечности и безопасности постоянно повышаются, выбор правильного двигателя для насосного оборудования имеет ключевое значение. Когда речь заходит о лопастных насосах, предназначенных для перекачивания чистых жидкостей с низкой вязкостью, асинхронный электродвигатель закрытого типа является идеальным решением. Эта силовая установка демонстрирует высочайшую эффективность в самых разных областях – от медицинского оборудования и аквариумов до систем охлаждения и кондиционирования воздуха.

В закрытом исполнении двигатель оснащается герметичным корпусом с радиальными или осевыми ребрами охлаждения. Отсутствие прямого контакта внутренних частей с внешней средой требует эффективного отвода тепла. Обычно используется поверхностное воздушное или жидкостное охлаждение. Такое решение позволяет эксплуатировать двигатель в условиях повышенной влажности, запылённости или при непосредственном контакте с насосным оборудованием, где возможны брызги воды или пар.

Асинхронный двигатель обеспечивает равномерное и устойчивое вращение. Благодаря плавному пуску и хорошей устойчивости к колебаниям нагрузки обеспечивается стабильная подача жидкости и снижение вибраций в системе. Отсутствие необходимости в сложных системах управления делает асинхронные двигатели удобными для автоматизированных установок непрерывного действия.

Импеллерный насос (ламельный, насос с мягким ротором) является разновидностью пластинчато-роторного насоса. Рабочим органом насоса является мягкий импеллер (крыльчатка), посаженный с эксцентриситетом относительно центра корпуса насоса. За счёт этого при вращении рабочего колеса изменяется объём между лопастями и создаётся разрежение

на всасывании и давление на нагнетании.

Асинхронный двигатель обеспечивает равномерное и устойчивое вращение. Благодаря плавному пуску и хорошей устойчивости к колебаниям нагрузки обеспечивается стабильная подача жидкости и снижение вибраций в системе. Отсутствие необходимости в сложных системах управления делает асинхронные двигатели удобными для автоматизированных установок непрерывного действия.

Преимуществами такого насоса являются:

1. Бережное откачивание: не повреждает чувствительные жидкости, содержащие, например, культуры клеток или чешуйки в аквариуме;
2. Самовсасывание: позволяет удалять воздух из линии всасывания;
3. Работа всухую: они могут работать всухую в течение короткого времени без катастрофических последствий (в отличие от большинства центробежных насосов);
4. Низкий уровень шума.

Однако для реализации этих преимуществ требуется двигатель, способный работать в условиях возможного контакта с жидкостью, брызг и влажной среды. Именно в таких ситуациях используется асинхронный двигатель закрытого типа.

Конструкция и принцип действия

Асинхронный двигатель – это классическая электрическая машина, в которой вращающееся магнитное поле статора индуцирует ток в роторе, заставляя его вращаться. Приставка "закрытого типа" (или полностью закрытый) указывает на степень защиты двигателя от внешних воздействий.

Согласно международной классификации IEC 60529, такие двигатели часто имеют степень защиты IP54, IP55 или выше.

Конструктивные особенности:

1. Герметичный корпус: Корпус двигателя спроектирован таким образом, чтобы предотвратить попадание внутрь влаги, пыли и других посторонних предметов.
2. Отсутствие вентиляционных отверстий: в отличие от вентилируемых двигателей (открытого типа), закрытые модели не имеют отверстий для подачи воздуха. Это исключает возможность попадания влаги или абразивных частиц внутрь.
3. Пассивное охлаждение: поскольку вентиляция невозможна, двигатель охлаждается за счет передачи тепла от статора к корпусу (ребра которого увеличивают площадь теплопередачи), а затем в окружающую среду. Это накладывает ограничения по мощности при тех же габаритах, но делает конструкцию чрезвычайно надежной.
4. Защищенный подшипниковый узел: подшипники оснащены надежными уплотнениями (сальниками или манжетами), предотвращающими вымывание смазки и попадание воды.

Сочетание асинхронного двигателя закрытого типа с крыльчаточным насосом создает синергетический эффект, обеспечивая ряд преимуществ:

1. Высокая надежность и долговечность. Защита от влаги и агрессивных сред значительно снижает риск коррозии внутренних компонентов двигателя (обмоток, сердечника) и выхода из строя подшипников. Это в несколько раз продлевает срок службы всего агрегата.

2. Защита от внешних воздействий. Насос можно устанавливать в помещениях с повышенной влажностью (прачечные, цеха по стирке), на открытом воздухе под навесом или в условиях повышенной запыленности. Двигателю не страшны случайные брызги или конденсат.

3. Стабильность работы. Асинхронные двигатели обладают высокой перегрузочной способностью и стабильными характеристиками крутящего момента, что важно для лопастного насоса, сопротивление которого может варьироваться в зависимости от вязкости жидкости и противодавления в системе.

4. Низкий уровень шума и вибрации. Закрытая конструкция способствует дополнительному шумопоглощению. В сочетании с бесшумной работой самого рабочего колеса это делает систему практически бесшумной, что имеет решающее значение для медицинского или лабораторного оборудования.

5. Простота обслуживания. Надежность конструкции означает, что двигатель не требует частого технического обслуживания. Основная работа сводится к периодическому контролю состояния и, в редких случаях, замене подшипников через длительный период времени.

Области применения:

1. Медицинское оборудование: аппараты для диализа, аналитические приборы, дозаторы.

2. Аквариумы: Системы фильтрации для морских и пресноводных аквариумов.

3. Пищевая промышленность: Перекачка вин, соков, молочных продуктов в небольших емкостях.

4. Системы охлаждения: Циркуляция хладагента в лазерных установках, холодильных установках.

5. Бытовая техника и оборудование для контроля климата: насосы для подачи воды в кофемашины, увлажнители воздуха.

Вывод

Асинхронный двигатель закрытого типа – это не просто привод, а стратегический компонент, который раскрывает весь потенциал импеллерного насоса. Его герметичность, стойкость к внешним воздействиям и неприхотливость делают его идеальным выбором для создания надежных, долговечных и безопасных систем перекачки жидкостей. В ситуациях, где отказ насоса недопустим, инвестиция в качественный двигатель закрытого типа окупается многократно за счет бесперебойной работы и снижения затрат на обслуживание.

Библиографический список

1. Попов В.И., Ахунов Т.А., Макаров Л.Н. Современные асинхронные машины: Новая Российская серия РА. – М.: Изд-во «Знак», 1999. – 256 с.
2. Проектирование электрических машин: учебник для бакалавров / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 767 с. – Серия: Бакалавр. Углубленный курс

© Кабиров Р.Р., Саликаев Н.И., Фазлыев Д.И., 2025

Р.И. ФАХРЕТДИНОВ

rayan.fakhretdinov@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Ш.Г. ИСМАГИЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ПОЕЗДОВ

Аннотация: в данной статье рассматриваются электродвигатели тяговые, применяемые в современных высокоскоростных поездах.

Ключевые слова: электродвигатель; преобразователь; охлаждение.

Высокоскоростные поезда стали важным элементом транспортной инфраструктуры, обеспечивая быструю и эффективную связь между городами. Одним из ключевых факторов, определяющих их производительность, является тип используемого двигателя.

Условия работы тяговых электродвигателей

Условия эксплуатации таковы, что ток тягового двигателя ежеминутно меняется, также меняется и частота вращения [1]. При этом и тот и другой показатель могут, как длительное время сохранять постоянство значений, так и резко изменяться (рис. 1).

У электропоездов токовые нагрузки стабильны (рис. 1) и из-за сравнительно больших режимов выбега в целом двигатели электропоездов перегреваются меньше.

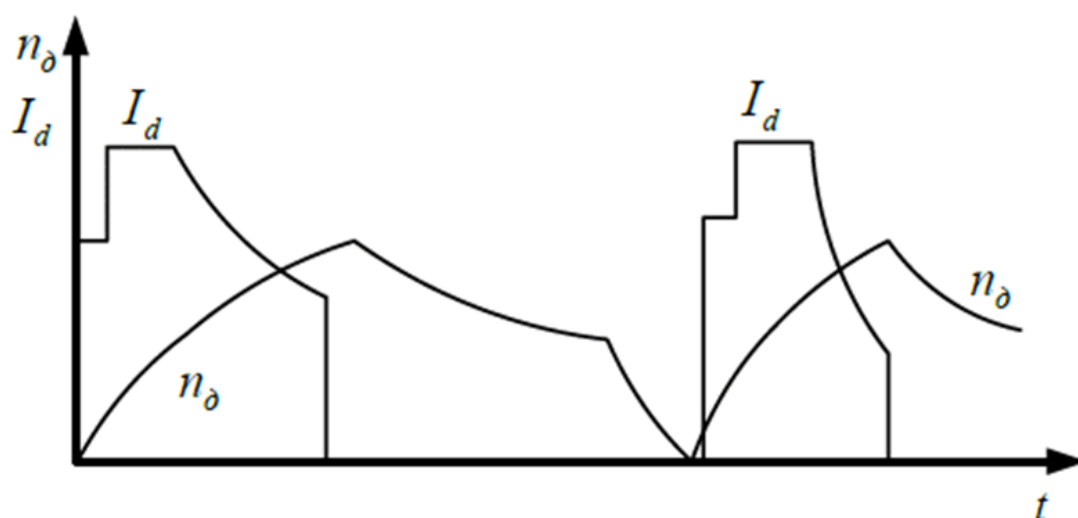


Рис. 1. Пример формы тока и частоты вращения двигателя электропоезда в процессе эксплуатации

Особенности конструкции тяговых двигателей переменного тока

В тяговом электромашиностроении накоплен опыт использования асинхронных, вентильных и линейных двигателей. До настоящего времени нет твердого мнения о преимущественном использовании какого-либо из них на всех видах подвижного состава. Каждый из двигателей имеет свои достоинства и недостатки.

Остов, подшипниковые щиты, вал могут быть выполнены практически одинаковыми. Статор вентильного двигателя выполняется большим в связи с необходимостью расположения датчиков для контроля положения ротора. Конструктивно статоры асинхронного и вентильного двигателя практически не отличаются. Ротор асинхронного двигателя выполняется либо с алюминиевыми, либо с медными стержнями. Ротор вентильного двигателя может быть выполнен только в неявнополюсном виде, что имеет свои положительные и отрицательные стороны.

Из положительных - неявнополюсные роторы применяют при больших скоростях и малом числе полюсов, так как они имеют более прочную конструкцию.

Из отрицательных - необходимость дополнительных устройств для ориентации в пространстве и синхронизации с напряжением электрической сети.

Асинхронные двигатели с их простой конструкцией, низкой стоимостью, как с алюминиевыми, так и с медными роторами, были преобладающими тяговыми двигателями в железнодорожных движителях на протяжении последних почти четырех десятилетий [2]. Выбор алюминия или меди основывается на нескольких параметрах, от области применения до типа охлаждения и требований к производительности. Например, городские трамваи, как правило, низкопольные, и в них тяговые двигатели подвержены воздействию большого количества грязи и пыли. Поэтому предпочтительнее использовать полностью или полузакрытые двигатели, чтобы они оставались полностью работоспособными и не подвергались влиянию условий окружающей среды. Кроме того, конструкция двигателя должна быть способна справиться с пониженным охлаждением ротора в двигателях закрытого типа, и, в свою очередь, медный ротор считается предпочтительным, поскольку потери на тепло, возникающие в роторе, значительно ниже, чем в алюминиевом роторе.

Интересные особенности двигателей с постоянными магнитами по сравнению с асинхронными двигателями, например, более высокий крутящий момент, КПД и возможность ослабления магнитного поля, повысили интерес операторов и производителей поездов к двигателям с постоянными магнитами в первом десятилетии XXI века, когда предпринимались усилия по разработке двигателей с постоянными магнитами для железнодорожного транспорта, особенно для электропоездов и высокоскоростных поездов.

Редкоземельные неодимовые магниты считаются основным кандидатом для применения в поездах из-за их высокой производительности и относительно низкой зависимости от температуры.

Проблема безопасности асинхронных двигателей в случае поломки является ещё одним фактором, влияющим на стоимость силовых установок, из-за необходимости добавления дополнительных компонентов, например выключателей, для снижения этого риска. Кроме того, двигатели с постоянными магнитами, как и любые другие синхронные двигатели, не могут управляться в групповых приводах. Это связано с тем, что обычно тяговые двигатели, подключённые к преобразователям параллельно, должны приводить в движение колёса разного диаметра, а значит, вращаться с разной скоростью. С этим могут справиться асинхронные двигатели, однако синхронные двигатели с постоянными магнитами, работающие с той же частотой, что и преобразователь, не могут работать в такой конфигурации. Следовательно, на каждый тяговый двигатель требуется один преобразователь. Это увеличивает стоимость преобразователей. Разные диаметры являются результатом разной степени износа колёс во время эксплуатации поезда.

Таблица 1

Сравнение железнодорожных тяговых двигателей с различными конструкциями роторов, оценка по 10-бальной шкале

<i>Motor type</i>	<i>IM, Cu</i>	<i>IM, Al</i>	<i>PM</i>	<i>SynRel</i>	<i>PMSynRel</i>
<i>Efficiency</i>	4	2	10	6	8
<i>Torque density</i>	6	4	10	4	8
<i>Field weakening</i>	6	6	10	4	8
<i>Power factor</i>	6	6	10	2	8
<i>Multiple drive</i>	8	10	2	2	2
<i>Cost</i>	6	8	2	10	4
<i>Reliability</i>	10	10	8	10	8
<i>Safety</i>	10	10	4	10	6

В таблице 1 представлено сравнение двигателей с различными топологиями [3]. Как видно, двигатели с постоянными магнитами, КПД которых составляет 94–96%, получили более высокую оценку по сравнению с асинхронными двигателями, КПД которых составляет 91% и 92% с алюминиевыми и медными роторами соответственно. Этот аргумент применим и к другим параметрам, включая удельную мощность, способность ослаблять магнитное поле и коэффициент мощности.

Тяговый двигатель высокоскоростного поезда Сапсан

Тяговый электродвигатель (ТЭД) *1TB2019-1GC02* (рис. 2) – четырёхполюсный трёхфазный асинхронный с короткозамкнутым ротором, используется в высокоскоростных поездах ЭВС1 и ЭВС2 «Сапсан» [4].

В каждом моторном вагоне Сапсана размещено четыре таких ТЭД.

Двигатель сконструирован для эксплуатации на импульсных инверторах в технике IGBT (биполярный транзистор с изолированным затвором) и специальных требований, предъявляемых к высокоскоростным электропоездам.

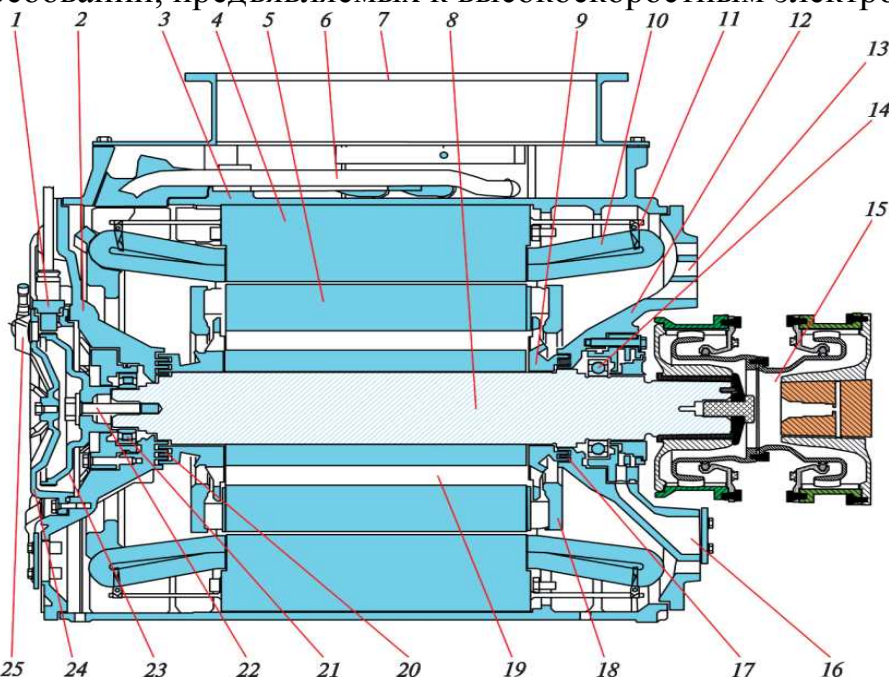


Рис. 2. Общий вид асинхронного электродвигателя (ТЭД) *1TB2019-1GC02*

1 – датчик скорости вращения ротора (датчик Холла); 2 – передний подшипниковый щит; 3 – литой корпус статора; 4 – магнитное ярмо статора; 5 – магнитное ярмо ротора; 6 – подводящие высоковольтные кабели (фазы А, В, С); 7 – коннектор подсоединения патрубка принудительной воздушной вентиляции; 8 – вал ротора; 9 – упорная шайба на валу ротора; 10 – обмотка статора; 11 – фиксатор лобовых вылетов обмотки статора; 12 – задний подшипниковый щит; 13 – отверстия выхода потока охлаждающего воздуха; 14 – задний шариковый радиально-упорный подшипник вала ротора; 15 – зубчатая муфта (подробное описание в разделе «Механическая часть»); 16 – канал отработанной смазки заднего подшипника; 17 – лабиринтное уплотнение заднего подшипника; 18 – торцевое медное короткозамыкающее кольцо; 19 – вентиляционное отверстие в ярме ротора; 20 – лабиринтное уплотнение переднего подшипника; 21 – передний радиальный роликовый подшипник; 22 – болт крепления зубчатого колеса датчика скорости вращения ротора (Холла); 23 – зубчатое колесо датчика скорости вращения ротора (Холла); 24 – крышка зубчатого колеса датчика скорости вращения ротора (Холла); 25 – место подключения кабеля измерения температуры переднего подшипника.

ТЭД имеет принудительное охлаждение (рис. 2). Два ТЭД одной тележки получают нагнетаемый воздух от системы принудительной вентиляции, расположенной рядом с тележкой. Эта система состоит из приводного асинхронного двигателя с вентилятором, воздушного фильтра и воздухопроводов, соединяющих вентилятор с входными коннекторами обоих ТЭД тележки.

Воздушные фильтры на вентиляторе с внешним приводом препятствуют проникновению в двигатель мелких инородных частиц размером более 0,5 мм, а также большого количества пыли. Приводные асинхронные двигатели подключены к шине *EBV 440 V*, 60 Hz и имеют устройство, позволяющее изменять их скорость (две ступени) методом переключения числа пар полюсов. Вентиляторами управляет блок управления приводом (БУП), который и определяет параметры их работы по уровню температуры корпуса ТЭД. Меню ИЧМ машиниста позволяет при необходимости принудительно увеличивать скорость вращения вентиляторов охлаждения до максимума.

Состоящий из изолированных электротехнических стальных листов пакет статора запрессован в корпус статора, имеющий аксиальные воздушные каналы для охлаждения [5]. Обмотка статора помещена в пазы пакета пластин, которые закрываются полосками закрывания пазов. Коробка выводов, привинченная к корпусу статора, закрывается крышкой. Обмотанный пакет статора пропитан в вакууме и соответствует классу нагревостойкости 200. Статор оснащен встроенным в его корпус датчиком температуры, состоящим из терморезистора системы РТ-100, которая превращает аналоговый сигнал от терморезистора в цифровой и передает в блок управления приводом (БУП) с целью контроля им температуры каждого из двигателей.

Ротор в сборке состоит из нескольких компонентов. На его оси из высокопрочной улучшенной стали в горячем состоянии запрессован пакет пластин из изолированных электротехнических стальных листов вместе с расположенными слева и справа от них упорными шайбами ротора. Ротор имеет аксиальные воздушные каналы для охлаждения. В пазах пакета пластин находятся стержни роторной обмотки из меди. Короткозамыкающие кольца, припаянные твердым припоем на задних *D-end* и передних *N-end* оконечностях стержней создают обмотку ротора типа «беличья клетка». Каждая упорная шайба ротора имеет огибающую канавку, в которую закручены балансирующие грузы. С их помощью ротор динамически сбалансирован. На переднем *N-end* торце ротора привинчено зубчатое колесо датчика скорости.

На обеих сторонах корпуса статора установлен подшипниковый щит из алюминиевого литья. Роторные подшипники (рис. 2) вставлены соответственно в корпуса подшипников и прикручены к подшипниковым щитам. Между корпусами подшипников и подшипниковыми щитами имеются токоизолирующие прокладки. Ротор устанавливается на заднем *D-end* радиальном шарикоподшипнике и на переднем *N-end* роликоподшипнике с цилиндрическими роликами. Для смазки подшипников предусмотрены смазочные ниппели с конической головкой.

Высокоскоростные электропоезда ЭВС1 и ЭВС2 (Сапсан) с конструкционной скоростью 250 км/ч модели *Velaro Rus* предназначены для перевозки пассажиров на высокоскоростных электрифицированных линиях колеи 1520 мм постоянного тока напряжением 3000 В и переменного тока напряжением 25 кВ частотой 50 Гц, оборудованных высокими пассажирскими платформами [6].

Заключение

В проделанной исследовательской работе представлен обзор тенденций в сфере тяговых электродвигателей, используемых на железнодорожном рынке. Проведены сравнение различных конструкций с целью выявления плюсов и минусов каждой конфигурации, принципы работы и подбора конструктивных особенностей.

Библиографический список

1. Машины электрические вращающиеся тяговые общие технические условия. [Электронный ресурс] URL: <https://stds.ru/document/ГОСТ%202582-2013.pdf> (дата обращения: 01.11.2025).
2. Конструкция синхронных двигателей. [Электронный ресурс] URL: <https://drives.ru/stati/chto-takoe-sinhronnyj-ehlektrodvigatel/> (дата обращения: 01.11.2025).
3. S. Nategh et al., "A Review on Different Aspects of Traction Motor Design for Railway Applications," in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 56, no. 3, pp. 2148-2157, May-June 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.2968414 (дата обращения: 01.11.2025).
4. ЭВС1/ЭВС2 [Электронный ресурс] URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ЭВС1/ЭВС2> (дата обращения: 01.11.2025).
5. Тяговые двигатели ЭВС1-ЭВС2 [Электронный ресурс] URL: <https://www.etrain.ru/siemens/эвс1-эвс2-тяговый-двигатель/> (дата обращения: 07.04.2025).
6. Электропоезда ЭВС1, ЭВС2 "Сапсан" [Электронный ресурс] URL: <http://emupages.ru/trains-evs-maintenance.htm> (дата обращения: 01.11.2025).

© Фахретдинов Р.И., 2025

Е.С. СТРИЖОВ

strizhov.egor2016@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

К АНАЛИЗУ РАБОТЫ ТРАНСФОРМАТОРОВ ДЛЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация: в данной статье определены способы уменьшения перенапряжений, потерь при передаче электроэнергии от ветроэлектростанций к потребителям. Определена роль силовых трансформаторов, обеспечивающих преобразование электроэнергии до уровня сети общего пользования.

Ключевые слова: трансформатор, ветроэлектростанция, перенапряжение.

Сегодня особое значение приобретает использование возобновляемой энергии, включая ветровые установки. Одним из примеров является полуостров Крым, где функционируют несколько ветроэлектростанций, среди которых выделяется Мирновская ВЭС мощностью 18,46 МВт [1]. Поскольку скорость ветра отличается нестабильностью, возникает необходимость организации сложной инфраструктуры для передачи выработанной энергии потребителям. ВЭС имеют сложную структуру (рис. 1). В состав ВЭС входят трансформаторы, такие как ТМ-1600 мощностью 1600 кВА напряжением 35/0,4 кВ [2], задачей которых является повышение выходного напряжения до необходимых уровней электросети.

Трансформаторы для ВЭС испытывают значительные колебания нагрузки. Их циклы нагрузки могут меняться в зависимости от скорости ветра и работы турбины. Поэтому трансформатор имеет отпайки для регулирования напряжения при помощи переключателя. Из-за частых переключений возникают кратковременные перенапряжения. Чтобы уменьшить перенапряжения можно изменить коэффициент трансформации силового трансформатора [2].

Понизить номинальное напряжения на низковольтной стороне трансформатора можно, уменьшив количество витков вторичной обмотки или увеличив количество витков первичной обмотки. Наиболее приемлемый вариант заключается в увеличении количества витков первичной обмотки, так как в этом случае величина тока холостого хода будет меньше, что позволит уменьшить объем потребляемой реактивной энергии силовыми трансформаторами и станцией в целом [2].

С технологической точки зрения преимущество также имеет вариант изменения количества витков высоковольтной обмотки, так как она изготовлена из провода малого сечения, номенклатура которого значительно шире, чем для низковольтной обмотки, что позволяет сохранить те же габаритные размеры

трансформатора. Кроме этого, высоковольтная обмотка наматывается поверх низковольтной, поэтому при намотке дополнительного количества витков высоковольтной обмотки потребуется минимальная доработка трансформатора, при которой не надо демонтировать низковольтную обмотку [2]. Для адаптации трансформатора к линии электропередачи регулируемая часть высоковольтной обмотки должна иметь отпайки со стандартной дискретностью в 2,5% номинального значения напряжения электросети [2].

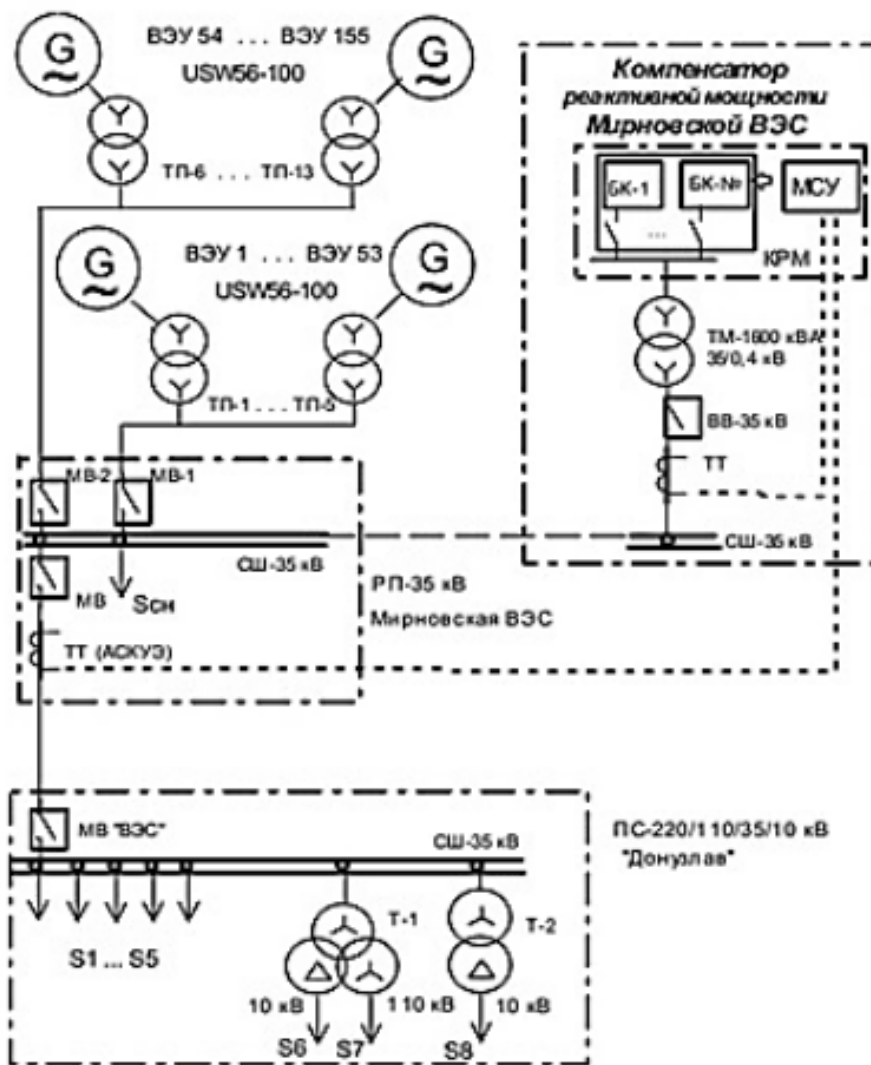


Рис. 1. Упрощенная схема включения Мирновской ВЭС в энергосистему [5]

Однако из-за этого возможно увеличение потерь электрической энергии при работе трансформатора на холостом ходу. На распределительных трансформаторных подстанциях возможно уменьшить потери изменением, например, схем соединения обмоток силового трансформатора в зависимости от нагрузки, но на ВЭС электроэнергия передается в общую сеть, а генерация зависит от скорости ветра. В связи с этим большинство исследований решают проблему повышением эффективности и изменения рабочих схем систем охлаждения обмоток масляных трансформаторов [2].

Для системы естественного масляного охлаждения (М) (рис. 2, а) можно добавить радиатор, заменить радиаторы на более мощные или оснастить радиаторы вентиляторами обдува, получив систему естественного масляного охлаждения с дутьем (Д) (рис. 2, б) [4]. Однако внедрение указанных решений зачастую осложняется недостатком свободного пространства на поверхности бака трансформатора.

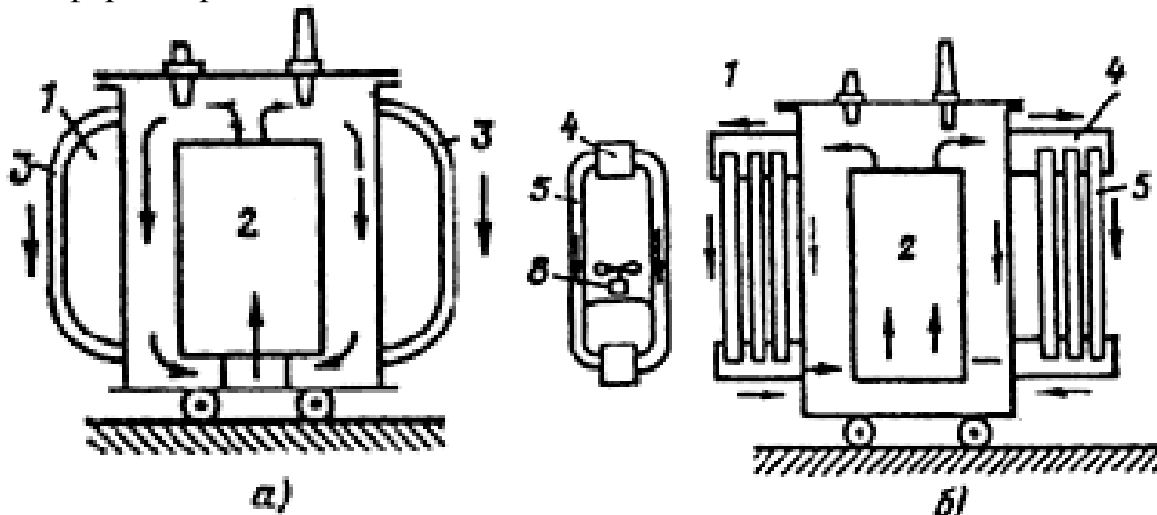


Рис. 2. Системы охлаждения трансформатора:

а – типа М; б – типа Д; 1 – выемная часть; 2 – бак; 3 – охлаждающая поверхность; 4 – коллектор; 5 – трубки радиаторов; 8 – электровентиляторы [5]

Эффективность системы охлаждения (Д) повышается благодаря увеличению производительности установленных вентиляторов либо монтажу дополнительных единиц. Тем не менее, данный подход используется крайне редко ввиду нехватки свободного пространства для размещения дополнительного оборудования [4].

Возможные варианты снижения перенапряжений и потерь в трансформаторах ветроэлектростанций способствуют повышению их работоспособности и оптимизации процесса передачи электрической энергии в ВЭС.

Библиографический список

1. Рудиков, А. С. Мониторинг развития ветроэнергетики Республики Крым / А. С. Рудиков // Национальные экономические системы в контексте трансформации глобального экономического пространства: Сборник научных трудов / Под общей редакцией З.О. Адамановой. – Симферополь: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2023. – С. 485-490. – EDN ZRPUCQ
2. Модернизация трансформаторов ветроэлектростанции на основе анализа параметров ветроэнергетической установки / Э. А. Бекиров, Е. А. Bekirov, С. Н. Воскресенская [и др.] // Энергетические установки и технологии. – 2025. – № 2. – С. 106-110. – ISSN 2413-5526. – Текст: электронный // Лань:

электронно-библиотечная система. – URL:
<https://e.lanbook.com/journal/issue/371877> (дата обращения: 05.11.2025). – Режим
доступа: для авториз. Пользователей

3. Прогнозирование, проектирование, расчет и анализ, и использование
ветроагрегатов в Крыму // Возобновляемая энергетика. – Симферополь:
Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография
«Ариал», 2016. – С. 53-89. – EDN WDSUXX

4. Модернизация силовых трансформаторов с увеличением их
нагрузочной способности / В. А. Передельский, В. Ф. Колбасов, В. А.
Садовников, В. А. Якимов // Электро. Электротехника, электроэнергетика,
электротехническая промышленность. – 2009. – № 5. – С. 33-37. – EDN KXMAKJ

5. Основные положения методики инфракрасной диагностики
электрооборудования и ВЛ РД 153-34.0-20.363-99 / Дата введения 2000-06-01. //
РОССИЙСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ «ЕЭС РОССИИ» – URL:
<https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294817/4294817264.htm>

© Стрижов Е.С., 2025

УДК 621.34

Д.С. ГУСЕВ

dullrodger@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

ОБЗОР МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ САМОЛЁТОВ

Аннотация: в данной статье рассматриваются методы обеспечения отказоустойчивости вентильных электродвигателей для самолётов

Ключевые слова: вентильный; отказоустойчивый; серийный; самолёты; электрический; системы.

Современная концепция «более электрического самолёта» требует внедрения электрических машин в системы самолётов. Всё чаще механические, гидравлические и пневматические узлы самолёта заменяют на электрические. Использование вентильных электродвигателей объясняется их меньшими габаритами, меньшей массой и большей мощностью по сравнению со своими аналогами. Но их использование на самолет ведёт к повышенным требованиям отказоустойчивости [1].

Первый метод обеспечения отказоустойчивости заключается в резервировании обмоток статора – двигатель оснащается несколькими независимыми наборами обмоток (рис. 1), электрически и физически изолированными друг от друга. Каждый набор обмоток имеет свои выводы и запитывается от своего независимого инвертора. В номинальном режиме все обмотки работают вместе, разделяя нагрузку. При возникновении неисправности в одном наборе обмоток он отключается, а оставшиеся исправные обмотки продолжают работу, обеспечивая вращение двигателя. Основное преимущество – высокая степень отказоустойчивости, позволяющая продолжать работу при катастрофических отказах в одной из обмоток. Однако резервирование обмоток имеет и минусы – усложняет конструкцию, увеличивает массу и габариты, снижает коэффициент заполнения паза медью, требует использования нескольких независимых контроллеров [2,7].

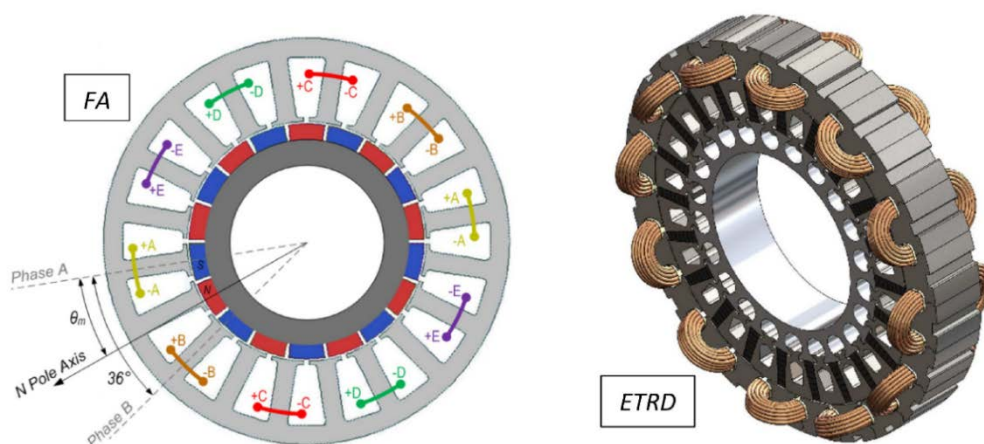


Рис. 1. Двигатель с резервированием обмоток

Второй метод – сегментирование статора и обмоток – это развитие идеи резервирования с дополнительной физической изоляцией. Статор делится на несколько независимых сегментов. Каждый сегмент имеет свою отдельную обмотку и подключён к отдельному инвертору. Сегментация позволяет локализовать повреждение на отдельном сегменте, не позволяя влиять на другие участки. Это обеспечивает максимальную изоляцию неисправностей, снижает влияние обмоток и упрощает ремонт, однако значительно усложняет конструкцию и сборку, негативно влияет на характеристики машины, вызывая пульсации [3].

Третий метод – повышение термостойкости и улучшение теплоотвода – это достигается оптимизацией конструкции двигателя для лучшего отвода тела при высоких температурах. Для этого используют термостойкие постоянные магниты и изоляцию, оптимизируют охлаждающую систему для отвода тепла не только изнутри, но и извне электродвигателя.

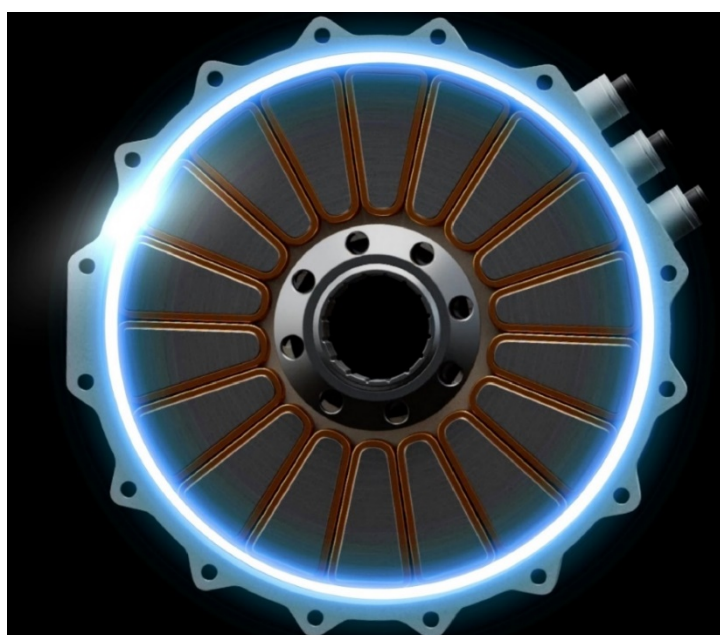


Рис. 2. Сегментированный статор аксиального вентильного электродвигателя

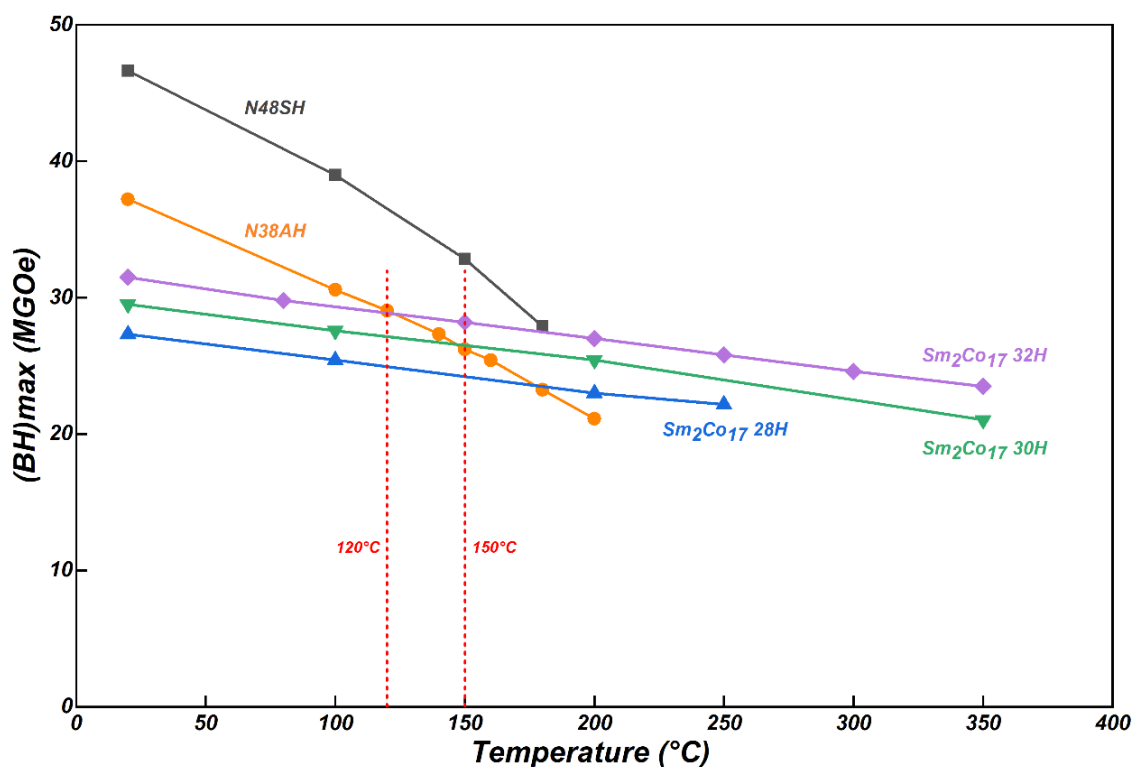


Рис. 3. Сравнение характеристик неодим-железо-бор и самарий-кобальтовых магнитов

Повышение термостойкости позволяет предотвратить термическое разрушение, вызывающее значительную часть катастрофических отказов. Использование термостойких магнитов приводит к ухудшению характеристик, взамен на лучшие магнитных свойств при высоких температурах [4,5,6].

Личный вклад автора. Разработан двигатель вентильный отказоустойчивый повышенной отказоустойчивости для топливного насоса дальнемагистрального самолёта с повышенной удельной мощностью и меньшими габаритами. Технические характеристики разработанного отказоустойчивого электродвигателя для топливного насоса, согласно ОСТ 1 00151-88 указаны в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики разработанного двигателя вентильного отказоустойчивого для топливного насоса дальнемагистрального самолёта ОСТ 1 00151-88

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания, В	540
Частота питания, Гц	400
Мощность, кВт	90
Скорость вращения, об/мин	9000

Библиографический список

1. Русанов Д. В., Подгузов В. А. Концепции более электрического и полностью электрического самолёта // Сборник тезисов докладов XIV Международной молодежной НТК. МАИ. 2019. С.474-475 [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38210950> (дата обращения 1.11.2025).
2. Inner Engineering Обмотки статора электрических машин: комплексный анализ [Электронный ресурс] URL: <https://inner.su/services/obmotka-statora-dvigatelya-i-generatora/> (дата обращения 1.11.2025).
3. Yasa Limited Axial Flux Motors for Electric Vehicles [Электронный ресурс] URL: <https://yasa.com/technology/> (дата обращения 1.11.2025).
4. <https://www.machinemfg.com/ru/safe-temperature-for-electric-motors/>.
5. Keneng В чем разница между неодимовым железо-боровым магнитом и самари-кобальтовым магнитом [Электронный ресурс] URL: <https://www.kenenghardware.com/ru/what-is-the-difference-between-neodymium-iron-boron-magnet-and-samarium-cobalt-magnet/> (дата обращения 1.11.2025).
6. SDM Magnetics Co. Неодимовые-магниты-против-самариево-кобальтовых-магнитов [Электронный ресурс] URL: <https://ru.sdm magnets.com/%D0%BD%D0%B5%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5-%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D1%8B-%D0%BF%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%B2-%D1%81%D0%B0%D0%BC%D0%B0%D1%80%D0%B8%D0%B5%D0%B2%D0%BE-%D0%BA%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D1%85-%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%B2/> (дата обращения 1.11.2025).
7. ElectricMotor Engineering Fault-tolerant electric drives for aeronautical applications [Электронный ресурс] URL: <https://www.electricmotorengineering.com/fault-tolerant-electric-drives-for-aeronautical-applications/> (дата обращения 1.11.2025).

© Гусев Д.С., 2025

УДК 621.43.04.

Б.Е. БОГДАНОВ

bogdanovbogdan2001ufa@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АГРЕГАТА ЗАЖИГАНИЯ В СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ТУРБОСТАРТЕРОВ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Аннотация: рассматривается актуальность применения агрегата зажигания в современных конструкциях турбостартеров летательных аппаратов (ЛА).

Ключевые слова: система, агрегат зажигания, турбостартер, емкость, газотурбинный двигатель, авиация.

Обозначим, что такое агрегат зажигания (АЗ). Согласно [1] АЗ – это электротехническое устройство в электрической системе зажигания авиационного газотурбинного двигателя (ГТД), преобразующее энергию источника питания в энергию, необходимую для функционирования свечи зажигания.

Согласно [2] ГТД – это тепловая машина, предназначенная для преобразования энергии сгорания топлива в кинетическую энергию реактивной струи и/или в механическую работу на валу двигателя.

Согласно [3] турбостартер (ТС) – это устройство для запуска авиационных двигателей с помощью турбины, мощность которой полностью или частично используется для раскручивания ротора запускаемого двигателя.

АЗ нашли широкое применение в ГТД, в частности в ТС, и вспомогательных силовых установках в составе авиации различного назначения: самолёты общего, специального назначения, служебные, региональные, и т. д. [4,5,6]. РФ лидирует по выпуску вертолетов. Например, АЗ аperiodического разряда используется в турбостартере ТС-21 [7] (рис. 1).



Рис. 1. Двигатель ТС-21

Этот двигатель применяется на ЛА СУ-24М [8] – советский и российский тактический фронтовой бомбардировщик с крылом изменяемой стреловидности, предназначенный для нанесения ракетно-бомбовых ударов в простых и сложных метеоусловиях, круглосуточно, в том числе на малых высотах с прицельным поражением наземных и надводных целей; носитель тактических ядерных зарядов (рис. 2).



Рис. 2. СУ-24М

Также АЗ применяется в турбостартере ВК-100, изображенного на (рис. 3).

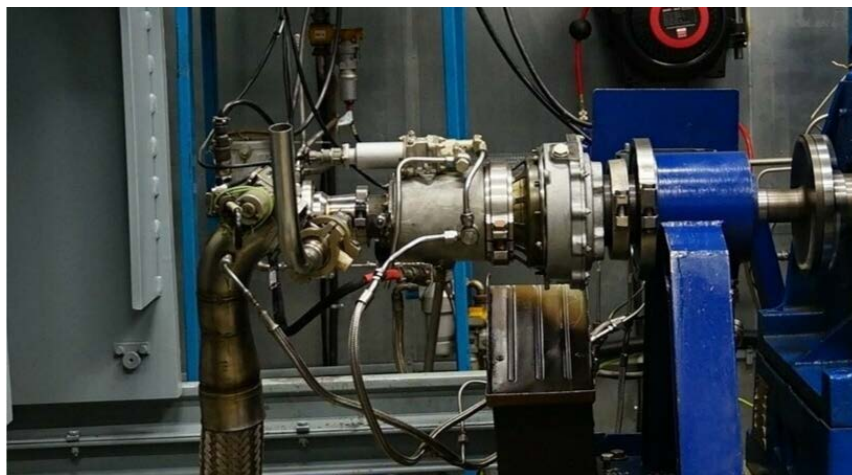


Рис. 3. Турбостартер ВК-100

Исходя из [9] турбостартер ВК-100 входит в проекты будущих ГСУ (гибридных силовых установок), в частности в ВК-650В (рис. 4).

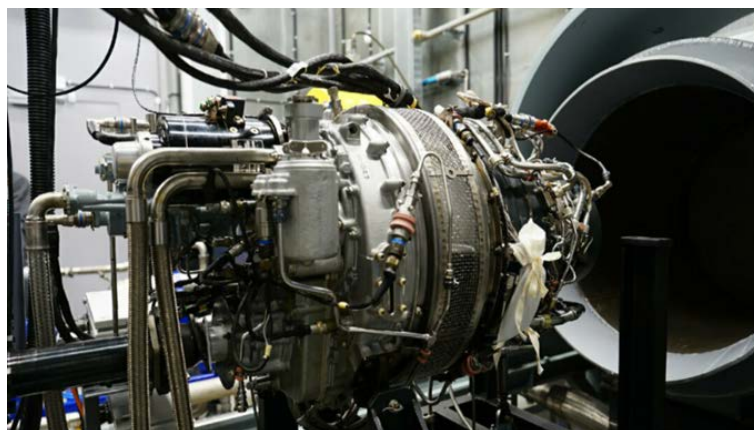


Рис. 4. Гибридная силовая установка ВК-650В

ГСУ позволяют достаточно легко создавать новые архитектуры ЛА, например, вертикального взлёта и посадки, которые идеальны для перевозки пассажиров в труднодоступных местах, им не нужна взлетно-посадочная полоса, они экономичнее и безопаснее вертолётов.

Разработка ведёт «ОДК-Климов», в рамках мирового современного тренда на беспилотную авиацию. Гибридная схема даёт:

- перспективы экологичности;
- возможность выбирать оптимальные режимы работы газотурбинной части, тем самым повышая экономичность и снижая шум;
- возможность менять компоновку аппарата, при этом практически исчезают сложные трансмиссии, а энергия передаётся по проводам;
- изменение развесовки аппарата, что позволит создавать новые формы ЛА, для различных применений.

ГСУ ВК-650В планируют использовать, в рамках импортозамещения, и использовать в вертолётах Ансат, VRT-500 и Ка-226Т (рис. 5).



Рис. 5. Вертолет Ка-226Т

Таким образом, установлено, что АЗ в турбостартере широко используется в пилотируемой авиации. Исследования в данной области являются актуальной научно-технической задачей.

Личный вклад автора. Разработан агрегат зажигания для турбостартера с характеристиками, повышающими надежность искрообразования, и увеличенной длительностью непрерывной работы, с меньшими габаритами и массой. Технические характеристики разработанного агрегата зажигания для турбостартера согласно ОСТ 1 02526-84 указаны в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики разработанного агрегата зажигания для турбостартера
согласно ОСТ 1 02526-84

Наименование параметра	Значение параметра
Напряжение питания (диапазон), В По ГОСТ Р 54073-2017	27 (14÷30)
Частота искрообразования, Гц.	7÷10
Энергия, запасаемая в накопительном конденсаторе, Дж	1,5

Библиографический список

1. ГОСТ 22606–77. Системы зажигания авиационных газотурбинных двигателей электрические. Термины и определения.
2. Газотурбинный двигатель [Электронный ресурс] URL: <https://bigenc.ru/c/gazoturbinniy-dvigatel-2364fe> (дата обращения 13.10.2025).
3. Турбостартер [Электронный ресурс] URL: <https://www.axa-power.ru/dictionary/article/1938> (дата обращения 13.10.2025).
4. Pratt & Whitney GTF™ [Электронный ресурс] URL: <https://www.prattwhitney.com/en/products/commercial-engines> (дата обращения 17.10.2025).
5. Pratt & Whitney PW4062/F139 [Электронный ресурс] URL: <https://www.prattwhitney.com/en/products/military-engines> (дата обращения 18.10.2025).
6. Pearl 10X [Электронный ресурс] URL: <https://www.rolls-royce.com/products-and-services/civil-aerospace/business-aviation/pearl-10x.aspx#section-overview> (дата обращения 13.10.2025).
7. Двигатель TC-21 [Электронный ресурс] URL: <https://z-lib.fm/book/3259833/91fdb7/Турбостартер-TC21-Техническое-описание-Сборник-статей-и-материалов.html> (дата обращения 20.10.2025).
8. Су-24: Характеристики и боевое применение [Электронный ресурс] URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Су-24> (дата обращения 20.10.2025).
9. Турбостартер ВК-100 [Электронный ресурс] URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/145050/> (дата обращения 23.10.2025).

© Богданов Б.Е., 2025

Д.А. АБДУЛЛИН, Д.З КАШФЕТДИНОВ, А.М. ШАКИРОВ

adanilabdyllin2003@mail.ru

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент М.Б. ГАРЕЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ГЕНЕРАТОР СИНХРОННЫЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ КОТТЕДЖНОГО ПОСЕЛКА

Аннотация: в данной статье рассматривается использование синхронного дизель-генератора для питания коттеджного поселка. Приводится сравнение различных источников резервного питания.

Ключевые слова: резервный источник питания, дизель-генераторная установка, синхронный генератор.

Генераторы переменного тока играют ключевую роль в обеспечении надежного энергоснабжения объектов различного назначения, включая жилые поселки и загородные коттеджи. Одной из наиболее востребованных областей применения генераторов является создание автономных или резервных источников электроэнергии, обеспечивающих бесперебойное питание потребителей в условиях нестабильной работы либо полного отсутствия централизованного электроснабжения.

Сегодня многие удаленные населенные пункты сталкиваются с проблемами нестабильного центрального электроснабжения, вызванными изношенностью оборудования, перегрузками и чрезвычайными ситуациями. Синхронные генераторы позволяют эффективно решать проблему отключения основной сети, обеспечивая устойчивый доступ к электроэнергии для комфортного проживания и нормальной жизнедеятельности.

С развитием пригородной застройки возрастает количество автономных жилых зон, расположенных далеко от центров энергопотребления. Наличие собственного резерва электроэнергии значительно улучшает качество жизни и предотвращает риски чрезвычайных происшествий.

Современные условия эксплуатации требуют повышенной надежности, экономичности и долговечности оборудования, особенно при длительных сроках службы вне централизованной инфраструктуры. В связи с этим актуальным становится разработка надежных и эффективных решений для организации автономного энергообеспечения населенных пунктов.

Современные дизель-генераторы способны обеспечивать значительные объемы электроэнергии, достаточные для покрытия потребностей целого поселения. Это обеспечивает стабильное снабжение электричеством всех жильцов независимо от количества подключаемых потребителей.

Установки быстро запускаются при возникновении аварийных ситуаций

и начинают вырабатывать энергию практически мгновенно. Таким образом, жители смогут продолжать пользоваться бытовыми приборами, системами отопления и освещения без значительных перерывов.

Конструкция дизельных двигателей отличается надежностью и простотой ремонта. Большинство моделей рассчитано на длительный срок эксплуатации, минимально реагируя на изменения нагрузки и внешние факторы среды.

Дизельное топливо широко распространено и доступно почти повсеместно. Заправлять установку можно оперативно и удобно, используя стандартизированные методы транспортировки и хранения горючего.

За счёт большого запаса хода (длительное время работы на одной заправке) установка способна поддерживать электроснабжение продолжительное время, обеспечивая комфорт и безопасность жителей даже при длительных авариях на центральной линии электропередачи.

Благодаря своей прочной конструкции и надежной защите механизмов, дизель-генераторы хорошо переносят суровые климатические условия, сильные морозы, высокие температуры и повышенную влажность воздуха.

Генераторы имеют высокую эффективность преобразований тепловой энергии в электрическую, что снижает расходы на приобретение топлива и обслуживание. Многие модели оснащены современными средствами управления, позволяющими оптимизировать режимы работы и экономить топливо.

Установка работает независимо от состояния центральной энергосистемы, что повышает степень защиты населения от возможных сбоев и аварий на магистральных линиях передачи.

Применение дизель-генератора для резервного питания коттеджного поселка гарантирует надежную защиту жителей от неожиданных перебоев с электроэнергией, сохраняя комфортные условия проживания и работу важных инфраструктурных объектов.

Сравнение резервных источников питания

При рассмотрении вопросов организации резервного электроснабжения выбор оптимального источника электропитания является сложной задачей. Целесообразно провести сравнительный анализ широко применяемых технических решений, чтобы определить оптимальное исходя из требуемой мощности и заданных условий эксплуатации.

1. Электрогенераторные установки

Эти установки представляют собой комбинацию двигателя внутреннего сгорания (чаще всего дизельного или бензинового) и электрического генератора. Они обеспечивают быструю подачу электроэнергии при отключениях сети.

Преимущества:

- Быстрая готовность к работе.
- Возможность длительной непрерывной работы.
- Высокая мощность.

Недостатки:

- Высокое потребление топлива.
- Необходимость регулярного обслуживания.
- Шум и выброс вредных веществ.

2. Аккумуляторные батареи

Источники бесперебойного питания (ИБП) используют аккумуляторы для кратковременного поддержания работоспособности подключенных устройств при перебоях основного питания.

Преимущества:

- Отсутствие шумовых загрязнений.
- Безопасность эксплуатации.
- Компактность и мобильность.

Недостатки:

- Ограниченное время работы (обычно несколько часов).
- Требуют регулярной замены батарей.

3. Солнечные электростанции

Использование солнечных панелей позволяет получать электроэнергию непосредственно от солнца. Такие системы часто оснащаются аккумуляторными батареями для хранения излишков энергии днем и последующего использования ночью.

Преимущества:

-Экологически чистый источник энергии: отсутствие вредных выбросов при эксплуатации и шума.

-Энергия солнца – ресурс бесконечный.

-Минимальные затраты на обслуживание, при этом Оборудование служит долго: панели и инверторы рассчитаны на многолетнюю эксплуатацию

-Подходят даже для самых отдалённых уголков, где нет централизованного электроснабжения.

Недостатки:

- Зависимость от погодных условий.
- Дороговизна начальных вложений.
- Медленная отдача вложенных средств.

4. Газовые турбины и котлы-теплогенераторы

Некоторые крупные объекты используют газовые турбинные агрегаты, работающие на природном газе или пропане. Эти установки обладают большой мощностью и высоким коэффициентом полезного действия.

Преимущества:

- Экономичность благодаря дешевизне газа.
- Длительный срок службы оборудования.
- Надежность и стабильность работы.

Недостатки:

- Сложность монтажа и настройки.
- Большие размеры агрегатов.
- Повышенные требования к обслуживанию.

5. Топливные элементы (электрохимические генераторы)

Это перспективные технологии производства электроэнергии путем прямого преобразования химической энергии водорода в электричество. Однако пока подобные системы недостаточно распространены ввиду дороговизны и ограниченности ресурсов водорода.

Преимущества:

-Очень высокий КПД (до 80%).

-Полностью экологичные процессы выработки электричества.

-Тихая работа.

Недостатки:

-Высокая стоимость компонентов.

-Относительно низкий уровень развития технологий.

-Выбор конкретной установки зависит от множества факторов, среди которых основными являются надежность, доступность топлива, экономические соображения и специфические особенности объекта потребления.

Безусловный лидер – дизельные генераторы (ДГУ).

С одной стороны, ДГУ имеют шум и требуют поддержание топлива, но их универсальность и надежность перевешивают эти недостатки. В отличие от солнечных, ветровых и гидросистем, они не зависят от погодных условий, и готовы работать тогда, когда это действительно нужно.

Таким образом, проведенные сравнения показывают, что дизель-генераторные установки являются наиболее практичными и экономически эффективными для обеспечения резервного электроснабжения коттеджного поселка. Они имеют достаточное количество преимуществ, которые, в свою очередь, обеспечивают уверенность в стабильном энергоснабжении независимо от внешних факторов: время года, погодные условия.

Библиографический список

1. Штерн В.И. Самойлов А.А. Дизель-генераторы переменного тока напряжением до 400 В / В.И. Штерн, А.А. Самойлов, – Москва: Энергия, 1972. – 215с
2. Синхронные генераторы автономных систем: учебное пособие для вузов / Д. А. Бут. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 304с.

© Абдуллин Д.А., Кашфетдинов Д.З., Шакиров А.М., 2025

УДК 621:004.92(075.8)

К.И. ТУАЛЬБАЕВ, Р.З. БАГАПОВ, Н.А. МОРИН

whoisyuuta@gmail.com

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ CAD В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Аннотация: в настоящее время с развитием технологий и увеличением требований к электрическим машинам. Инженерам нужны современные инструменты для проектирования. Благодаря использованию CAD систем время проектирования уменьшается, а также уменьшается стоимость, так как на этапе подготовки производства проектируя машины провести проверочные расчеты и исправить недостатки. Все это позволяет исключить ошибки человека.

Ключевые слова: CAD системы, автоматизированное проектирование, электрические машины, 3D моделирование, автоматизация, проектирование, стандартизация, виртуальные модели, обучение инженеров, эффективность производства.

Актуальность темы обусловлена тем, все современные производства используют Автоматизированные системы проектирования и их использование значительно изменили подход к разработке и производству в различных секторах. Эти технологии помогают оптимизировать процессы, повышать точность и сокращать временные затраты.

Владение современными технологиями является важнейшим условием успешной профессиональной деятельности инженерно-технического работника в XXI веке. Современное машиностроительное производство идет по пути постепенного, но неуклонного развития автоматизированного производства.

Инженерам нужны современные инструменты для проектирования. Благодаря использованию CAD систем значительно ускоряя процесс создания проекта, автоматизирую производство снижается риск ошибок, возможность создания виртуальных моделей, а также уменьшается стоимость, так как на этапе подготовки производства проектируя машины провести проверочные расчеты и исправить недостатки.

Современные CAD-системы обладают широкими возможностями для визуализации, анализа и симуляции процессов, что позволяет значительно сократить время разработки и минимизировать затраты. Гибкость, интеграция с САМ и прочие функции делают их незаменимыми инструментами в различных отраслях – от автомобилестроения до архитектуры.

В настоящее время программная среда CAD предлагает широкий выбор инструментов для помощи в проектировании электрических машин.

Одним из самых важных достоинств системы – это возможность использования и создания трехмерной модели объекта. Переход от плоского чертежа к 3D модели позволяет нам увидеть конструкцию изнутри, а также всевозможные элементы электрической машины.

Автоматическое создание чертежей уже на основе 3D модели так же является большим достоинством, так как значительно сокращает время на оформление самих чертежей и документации. Программа не позволяет появления ошибок на чертежах, а также несоответствию их к трехмерной модели.

Важным преимуществом системы автоматизированного проектирования – это наличия в них большого количества библиотек стандартных деталей и изделий, которые выполнены в соответствии с государственными и международными стандартами. Возможность взять из библиотеки уже готовый элемент соответствующий ГОСТ, например подшипник или вал значительно экономит время для инженера, так как ему не нужно тратить время на самостоятельное моделирование деталей.

Раннее при изготовлении конструкции от инженеров требовался очень точный расчет, ведь для проверки требовалось изготовление большого количества образцов. Сейчас системы CAD позволяют при работе уже с готовой 3D моделью провести анализ прочностной, тепловой и другие.

Экономическим же преимуществом будет являться скорость разработки, что позволяет увеличить эффективность на производстве, так как избавляет от многократного ручного оформления, а также увеличивает скорость разработки будущего продукта.

Система CAD также является отличной средой для обучения молодых специалистов, благодаря ей студенты и школьники могут понять строение и принцип действия любой электрической машины. В процессе обучения важной способностью является возможность к анализу, современные программы позволяют изменять параметры модели в реальном времени, что помогает нам увидеть, как меняется конструкция. Работая со средой CAD обучающийся, получает полезные навыки в проектировании, которые он сможет использовать в будущем на современном предприятии.

Вывод

Современные CAD-системы играют ключевую роль в проектировании электрических машин, значительно повышая эффективность, точность и скорость разработки. Их использование позволяет автоматизировать создание чертежей, анализировать конструкцию на ранних этапах и сокращать затраты времени и ресурсов. Внедрение этих технологий способствует развитию автоматизированного производства, повышает качество продукции и служит важным инструментом обучения будущих инженеров, что делает их незаменимыми в современном машиностроении.

Библиографический список

1. https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&key=000530948&dtype=F&etype=.pdf
2. https://bsatu.by/sites/default/files/field/publikatsiya_file/sistemy-avtomatizirovannogo-proektirovaniya.pdf
3. https://www.gubkin.ru/faculty/mechanical_engineering/chairs_and_departments/machines_and_equipment/automation_of_designing/osnovi_avtom_proekt.pdf

© Туальбаев К.И., Морин Н.А., Багапов Р.З., 2025

В.И. БИМЯТОВ

vilnurbimatov@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Н.Г. ТАРАСОВ

Уфимский университет науки и технологий

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА ДЛЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

Аннотация: в данной статье проведен анализ замены традиционных сейсмоисточников на линейные электромагнитные приводы в современных комплексах.

Ключевые слова: линейный электромагнитный двигатель; линейный электромагнитный привод; ЛЭМД; ЛЭМП; сейсморазведка.

Сейсморазведка является ведущим геофизическим методом, основное назначение которого заключается в дистанционном изучении литосферы на наличие полезных ископаемых. Современная сейсморазведка требует источники колебаний, включающие в себя такие полезные параметры как эффективность, компактность, точность и простота обслуживания.

Линейный электромагнитный привод (далее – ЛЭМП) – это устройство которое преобразует электрический сигнал в механическое колебание определенной частоты. Колебания проходят через земные слои. Анализируя отраженные волны, геологи изучают строение недр земли и делают разведку на наличие полезных ископаемых.

Актуальность исследования, согласно [1], обусловлена тем, что линейный электромагнитный привод:

- является передовой заменой традиционных приводов для сейсморазведки;
- имеет КПД системы намного больше, чем у системы с гидравлическим приводом, так как происходит прямое преобразование энергии;
- имеет очень удобный показатель массогабаритных параметров из-за маленького количества элементов системы;
- способен работать в широком диапазоне частот, что позволяет делать более точные исследования;
- является невзрывным источником, то есть не наносит ущерб окружающей среде и могут использоваться вблизи населенных пунктов и природоохраненных территориях;
- является финансово выгодным, по сравнению с другими приводами, как в плане обслуживания, так и себестоимости сейсморазведочных работ.

Линейный электромагнитный привод – это электротехнологическая система, связывающая источник электроэнергии и технологический процесс и

включает в себя силовую, преобразующую электрическую энергию в механическую, и управляющую часть, которая обеспечивает контроль и управление переменными электропривода. ЛЭМП может питаться как от электросети, так и от аккумуляторной батареи.

В таблице 1 приведены предельные показатели различных видов приводов [2].

Таблица 1

Предельные показатели линейных приводов различных типов

Тип привода	Частота ходов, Гц	Рабочий ход, мм	Тяговое усилие, кг	КПД, %	Удельная сила тяги, н/кг
Электромеханический	300	70	4500	65	200
Пневматический	200	≥ 300	3000	11	650
Гидравлический	800	≥ 500	130000	85	10000
Электромагнитный	600	2000	15000	80	3000
Электродинамический	15000	300	45000	20	20
Индукционный	200	неогранич.	7150	80	8
Индукционно-динамический	60	50	153000	50	4000
Магнитоэлектрический	15000	30	102	60	1
Магнестрикционный	30000	4	61225	62	50
Электрострикционный	15000	10	10	85	500

Согласно таблице 1 наиболее эффективным среди рассмотренных является гидравлический привод. Однако следует учитывать, что данные параметры не отражают полную сложность технической реализации системы привода. Общий КПД системы с гидроцилиндром будет низок из-за многократных преобразований энергии на каждом этапе, как показано на рисунке 1 и приведено в формуле 1.



Рис. 29. Схема энергопреобразования в системе с гидроцилиндром

$$\eta_o^{\Gamma} = \eta_{ЭД} \cdot \eta_{РД} \cdot \eta_{ГД} \cdot \eta_{ТР} \cdot \eta_{Г} \quad (1)$$

В системе с линейным электромагнитным двигателем (далее – ЛЭМД) (рис.1) из-за прямого преобразования электрической энергии в механическую эффективность выше.

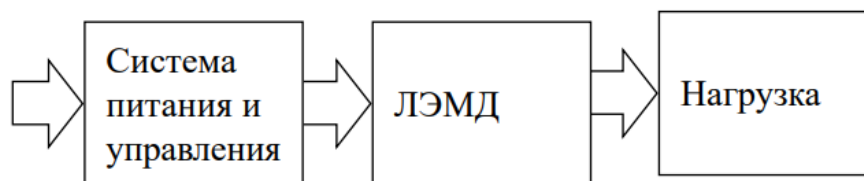


Рис.30. Схема энергопреобразования в системе с ЛЭМП

$$\eta_O^{\text{ЭМ}} = \eta_{\text{СПУ}} \cdot \eta_{\text{ЭМ}}, \quad (2)$$

Несмотря на более низкий собственный КПД ЛЭМД по сравнению с гидроцилиндром, система ЛЭМП демонстрирует более высокий общий КПД. Это преимущество обусловлено тем, что система с ЛЭМД имеет меньше элементов, что, собственно, и минимизирует потери.

Технический анализ подтверждает перспективность применения ЛЭМП в сейсморазведочных комплексах и высокий потенциал в использовании с интеллектуальными адаптивными системами, способными автоматически оптимизировать параметры излучаемого сигнала в реальном времени.

Библиографический список

18. Мошкин В.И., Нейман В.Ю., Угаров Г.Г. Импульсные линейные электромагнитные двигатели: Монография. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2010. – 220 с.
19. Лобанов А.Н. Варианты исполнения приводов в устройстве сейсмоплатформ // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2019. № 5. С. 51-54.

© Бимятов В.И., 2025

ОПЕРАТИВНЫЙ ПОИСК МЕСТ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ВЛ-6(10) кВ

Аннотация: статья посвящена исследованию различных устройств, по повышению оперативности поиска мест повреждений на воздушных линиях 6(10) кВ.

Ключевые слова: аварийные режимы энергосистемы, аварии на воздушных линиях, обрыв провода на воздушных линиях, однофазное короткое замыкание, междуфазное короткое замыкание, бесперебойность электроснабжения, реклоузер, индикатор короткого замыкания.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения оперативности работ оперативно-выездных бригад (ОВБ) при поиске мест повреждений на воздушных линиях (ВЛ)-6(10) кВ, питающих электроэнергетические установки газонефтедобывающих компаний. В условиях аварийных отключений любая задержка во времени на поиск мест повреждения и восстановление процесса электроснабжения приводит к снижению объёмов добычи нефти и, как следствие, к экономическим потерям компаний.

В работе была поставлена следующая задача:

- исследовать устройства, повышающие оперативность при поиске мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.

Эта задача поможет последовательно и детально исследовать все аспекты темы и прийти к обоснованным выводам.

Объектом исследования является ВЛ-6(10) кВ. Предметом исследования являются устройства, повышающие оперативность при поиске мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.

В процессе работы будут применены следующие методы: исследование, наблюдение и анализ. Эти методы выбраны в силу их эффективности в данной области. Применение данных методов позволит исследовать устройства, повышающие оперативность при поиске мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.

В рамках исследования были выполнены следующие основные этапы:

1. **Сбор данных:** на первом этапе были изучены различные устройства для оперативного отыскания поиска мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.

2. Теоретические исследования: в рамках исследования были рассмотрены различные устройства по повышению оперативности поиска мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.

3. **Экспериментальные исследования:** в рамках экспериментов были проведены внеочередные противоаварийные тренировки с ОВБ на ВЛ-6(10) кВ по повышению оперативности поиска мест повреждений, при помощи различных устройств.

Каждый этап исследования был направлен на получение точных данных, которые в дальнейшем использовались для анализа и выработки рекомендаций по оперативному отысканию аварий на ВЛ-6(10) кВ.

В ходе работы проанализированы функции устройств, обеспечивающие сокращение времени для поиска мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ. Их принцип действия основан на анализе электрических сигналов, магнитных полей или акустических проявлениях повреждения.

Для повышения оперативности работ ОВБ важно учитывать ряд ключевых факторов, которые играют важную роль, при выборе устройств. Это быстродействие срабатывания защит (минимальное время реакции на возникновение аварийной ситуации), отключение только повреждённого участка ВЛ-6(10) кВ (предотвращение перебоев питания здоровых частей сети), определение направления повреждения (чёткое указание участка линии, где произошло повреждение) и совместимость с существующими системами автоматизации (интеграция с сетевыми устройствами управления и сигнализации).

В результате анализа устройств и приборов, оказывающих влияние на повышение оперативности поиска мест повреждений, были предложены следующие приборы и устройства, которые рекомендованы для снижения времени поиска мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ:

- прибор для поиска однофазных замыканий на землю (ОЗЗ), например «Вектор» [1], позволяющий определить направление повреждения и тем самым значительно сократить зону осмотра повреждений;

- тепловизор («Testo 875-1» и аналоги) [2] применяется для контроля состояния ограничителей перенапряжения нелинейных (ОПН) и изоляторов без отключения напряжения. С его помощью неисправные элементы фиксируются по температуре (локальному перегреву);

- установка реклоузеров на отпайках ВЛ-6(10) кВ позволяет выполнить автоматическое отключение только повреждённого участка и сохранить питание остальных отпайек и сразу же определить аварийный сегмент, на котором произошло повреждение, а также установить причину отключения. Встроенные функции релейной защиты обеспечивают регистрацию причины отключения [3].

- индикаторы короткого замыкания (ИКЗ) устанавливаются на провода линии электропередачи, при аварии подает яркий световой сигнал, хорошо различимый в ночное время и при плохой видимости [4]. Непрерывная индикация ИКЗ обеспечивает визуальное сопровождение поиска и направление движения ОВБ в сторону места повреждения на ВЛ-6(10) кВ.

Рекомендуемые устройства позволят повысить оперативность работы ОВБ при локализации повреждений на ВЛ-6/10 кВ, что особенно важно для газонефтедобывающих предприятий. Также следует отметить, что наряду с

внедрением технических средств, ключевым направлением остаётся повышение квалификации персонала ОВБ и регулярное обучение навыкам работы с диагностическими устройствами и приборами. Совместное использование современных технологий и подготовленного персонала обеспечивает минимизацию времени ликвидации аварий и повышение надёжности электроснабжения объектов добычи нефти и газа.

Библиографический список

1. https://www.souz-pribor.ru/catalog/energy_laboratory/izmeriteli-neodnorodnosti-linij-reflektometry/vektor/ / [Электронный ресурс] // : [сайт]. – URL: (дата обращения: 26.08.2025).
2. <https://testoshop.ru/produksiya/teplovizory/pribory-teplovizory/teplovizor-s-netd-testo-875-1/> / [Электронный ресурс] // : [сайт]. – URL: (дата обращения: 26.08.2025).
3. <https://tavrida.ru/ter/solutions/REC15/> / [Электронный ресурс] // : [сайт]. – URL: (дата обращения: 26.08.2025).
4. <https://www.elec.ru/publications/analitika-rynka/5360/> / [Электронный ресурс] // : [сайт]. – URL: (дата обращения: 26.08.2025).

© Вавилов И.П., 2025

М.Т. ВИНОКУРОВА

Mashavin9@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

СНИЖЕНИЕ КОММЕРЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Аннотация: важнейшим количественным показателем технического состояния электрических сетей и уровня их эксплуатации является величина потерь электроэнергии, которая неминуемо растут. В данной работе рассматриваются методы сокращения коммерческих потерь электроэнергии при помощи улучшения системы учёта. Рассматриваются основные причины возникновения коммерческих потерь электричества, включая хищения электроэнергии у потребителей.

Ключевые слова: потери; коммерческие потери; интеллектуальная система учёта.

Введение

В последние годы наблюдается активное развитие исследований в области потерь электрической энергии, что объясняется серьезным финансовым убытком сетевых компаний. Актуальность данной темы является рассмотреть коммерческие потери методом хищения электрической энергии в приборах учета у потребителей. Рассмотрение этого вопроса позволит показать все возможные методы хищений электрической энергии и позволит выявить методы их ликвидации. Для начала нам необходимо узнать, как образуются потери в особенности коммерческие и как АСКУЭЭ (автоматическая система коммерческого учета электрической энергии) поможет сократить потери.

Разделение потерь на составляющие может проводиться по разным критериям: характеру потерь (постоянные, переменные), классам напряжения, группам элементов, производственным подразделениям и т. п. Для целей анализа и нормирования потерь целесообразно использовать укрупненную структуру потерь электроэнергии, в которой потери разделены на составляющие исходя из их физической природы и специфики методов определения их количественных значений [4].

На основе такого подхода фактические потери могут быть разделены на две составляющие:

1) технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей;

2) коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием показаний счетчиков оплате электроэнергии бытовыми потребителями и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии.

Исследования в области коммерческих потерь имеют давние корни и активно развиваются примерно с 1990 года. На ранних этапах вопросы, связанные с уменьшением коммерческих и технологических потерь, были подняты такими исследователями, как Л.А. Солдаткина, Н.А. Мельников, Ю.С. Железко, И.В. Жежеленко, Г.Я. Вагин. [5] В своих трудах они заложили основу для понимания потерь путем разработки программных средств, а так-же перечни возможных методов по снижению потерь.

Были введены новые нормативные документы, устанавливающие методы расчета и анализа потерь. Современные программные средства позволяют выполнять подробный анализ потерь в сетях всех напряжений с разделением их на структурные составляющие (технические и коммерческие потери, нагрузочные, холостого хода, в различных группах элементов, с разделением по выделенным регионам и т.п.) с одновременным выявлением наибольших потерь и выбором методов по их снижению.

Постепенно развитие привело к появлению современных направлений и новых моментов исследования, что позволяет сегодня рассматривать проблему с более комплексной позиции.

В последние десятилетия исследования в области коммерческих потерь значительно расширились, и современные ученые активно изучают методы для уменьшения потерь при помощи компьютерных технологий [2].

На сегодняшний день можно выделить несколько основных направлений, в рамках которых проводятся исследования [1]. Одним из них является установка приборов учета на границе балансовой принадлежности, который предлагает устанавливать интеллектуальные приборы учета на границу балансовой принадлежности (ГБП) для исключения возможностей вмешательства в схему работы прибора учета самого потребителя. Кроме того, актуальными являются уникальность внутренних микросхем интеллектуальных приборов учета, которые не позволяют использовать иные методы для вмешательства в схему прибора учета.

Современные работы показывают, что большинство потребителей используют посторонние предметы для вмешательства в работу схем такие как магнит для затормаживания диска в приборе учета [3]. Эти подходы помогают более глубоко понять причину, что способствует дальнейшему развитию и совершенствованию методов исследования.

Несмотря на значительное внимание к теме коммерческих потерь, остаются моменты, которые изучены недостаточно или требуют более глубокого анализа. На данный момент одной из ключевых нерешённых проблем является хищение электроэнергии у потребителей, которые при помощи вскрытия заводских пломб и вскрытия самого прибора учета научились изменять

микросхемы для добавления дистанционного устройства, при помощи которого возможно регулирование расхода электрической энергии.

На данный момент внимание к методам снижения коммерческих потерь значительно усилилось благодаря развитию технологий и интеллектуальных систем учета. Стали формироваться более четкие подходы, такие как использования АСКУЭЭ для дистанционного контроля за учетом электрической энергии, которые существенно облегчили область понижения коммерческих потерь.

4. **Сбор данных:** на первом этапе была собрана коммерческих потерь электрической энергии потребителей до установки АСКУЭЭ.

Для наглядного примера был взят многоквартирный дом (МКД) в котором 20 квартир. По собранным данным за сентябрь 2025 года в сумме по всем квартирам вышло 4100 кВт*ч. Но общедомовой прибор учета посчитал, что он отдал на дом 4800 кВт*ч. По подсчетам потери в нем составили 700 кВт*ч

5. **Модернизация:** на данном этапе мы установили АСКУЭЭ в каждой квартире и общедомовом приборе учета.

При помощи дистанционного опроса приборов учета мы можем, не выходя из кабинета узнать сколько потребила каждая квартира за сентябрь месяц. Итоги собранных данных таковы:

- расход э/э общеквартирного прибора учета = 4800 кВт*ч,
- сумма э/э по квартирам = 4450 кВт*ч,
- потери э/э в МКД = 350 кВт*ч.

По полученной информации мы видим, что некоторые квартиры занижали потребление электрической энергии и теперь при суммировании каждого потребления, потери в МКД стали гораздо ниже.

6. **Подведение итогов:** в рамках эксперимента был взят 1 многоквартирный дом и по нему проведена исследовательская работа по внедрению интеллектуальных приборов учета, что привело к уменьшению коммерческих потерь в нем (рис. 1).

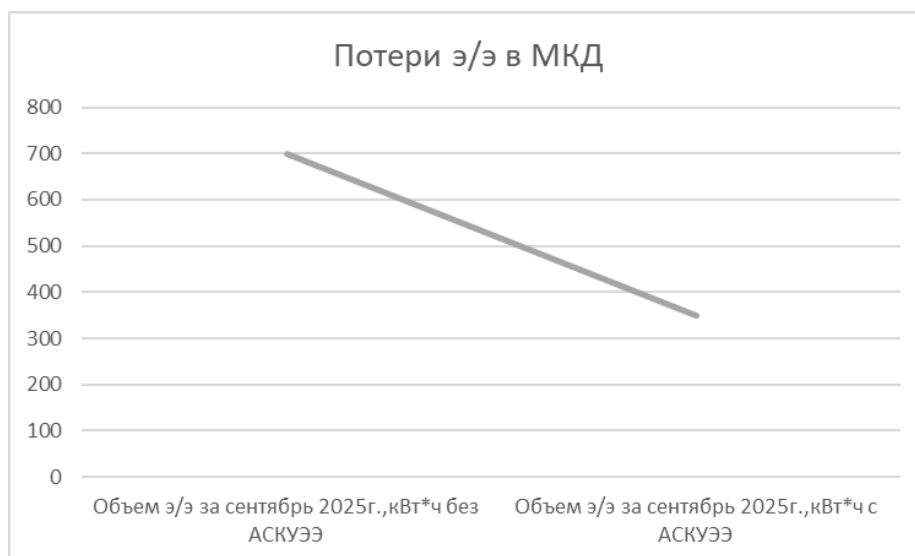


Рис. 1. Уменьшение потерь с применением АСКУЭЭ

7. **Влияние внедрения новых технологий:** результаты экспериментов показали, что при внедрении интеллектуальных приборов учета и систему АСКУЭЭ как в физических лицам (потребители электрической энергии квартир или частных жилых домов), так и к юридическим лицам (потребители электрической энергии предприятий и организаций), можно достичь наилучшего контроля над воровством электрической энергии, что так же позволит уменьшить коммерческие потери.

Полученные результаты подтверждают, что предложенный вариант поможет сократить коммерческие потери, что приведет к улучшению энергоэффективности. Однако, стоит отметить, что потребители в будущем смогут найти новые способы для хищения электрической энергии, что может увеличить коммерческие потери. Тем не менее, результаты исследования открывают новые перспективы для разработки новых приборов учета.

Заключение

Рассмотрев полученные результаты только по одному многоквартирному дому, можем сделать вывод, что многие потребители занимаются хищением электрической энергии, что приводит к повышению коммерческих потерь и внедрение интеллектуальных приборов учета поможет снизить их.

На основании полученных данных и сделанных выводов, можно предложить следующие рекомендации для энергетических компаний:

- Внедрение системы АСКУЭЭ для всех потребителей позволит значительно повысить энергоэффективность и сократить затраты на энергопотребление.

- Следует обратить внимание на выбор интеллектуальных приборов учета, т.к. система не идеальна и потребители в дальнейшем смогут найти методы вмешиваться в микропроцессорную схему приборов учета.

Библиографический список

1. Постановление Правительства РФ от 04.05.2012 N 442 (ред. от 01.11.2024) "О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии" (вместе с "Основными положениями функционирования розничных рынков электрической энергии", "Правилами полного и (или) частичного ограничения режима потребления электрической энергии").

2. Пат. 2757655 Российская Федерация, МПК G01R11/24, H02J13/00, Способ выявления и мониторинга нетехнических потерь в распределительных сетях 0,4 кВ [Электронный ресурс]/ Данилов М.И., Романенко И.Г., Ястребов С.С., Бережной Р.Е.; патентообладатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Северо-Кавказский федеральный университет" – № 2021105477; заявл. 03.03.2021; опубл. 10.19.2021.

3. Пат. 2687893 Российская Федерация, МПК G01R21/02, G01R31/62, Способ определения потерь активной электроэнергии в трансформаторе и

устройство для его реализации [Электронный ресурс]/ Васильева К.В., Костинский С.С., Михайлов В.В.; патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова" - № 2018118894; заявл. 22.05.2018; опубл. 16.05.2019.

4. Структура потерь электрической энергии. - [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://kvar.su/struktura-poter-elektroenergii/>.

5. Потери и качество электроэнергии. - [Электронный ресурс]- Режим доступа: <https://studfile.net/preview/2687266/page:11>.

© Винокурова В.Т., 2025

ИЗОЛЯТОР-РАЗРЯДНИК ШТЫРЕВОЙ ФАРФОРОВЫЙ МУЛЬТИКАМЕРНЫЙ

Аннотация: в работе рассматриваются преимущества конструкции изолятора-разрядника штыревого фарфорового мультикамерного, включающего многослойную структуру и специальную форму камеры, позволяющую эффективно рассеивать энергию электрического разряда и снижать вероятность пробоя. Особое внимание уделено вопросам установки изолятора-разрядника, имеющим определяющее значение для дальнейшей эффективной эксплуатации.

Ключевые слова: изолятор-разрядник штыревой фарфоровый мультикамерный, воздушные линии электропередач, перенапряжения.

Современное развитие электроэнергетики предъявляет повышенные требования к надежности и долговечности электрооборудования. Одним из ключевых компонентов высоковольтных линий электропередач являются изоляторы, обеспечивающие защиту оборудования от атмосферных перенапряжений и предотвращение коротких замыканий. Фарфоровые штыревые изоляторы широко используются благодаря своей механической прочности, устойчивости к воздействию окружающей среды и способности выдерживать высокие электрические нагрузки.

Однако традиционные конструкции фарфоровых изоляторов имеют ряд недостатков, среди которых ограниченная разрядная способность и низкая эффективность защиты от импульсных перенапряжений. Это особенно актуально в условиях возрастающих требований к качеству электроэнергии и повышению уровня напряжения современных электросетей.

Многокамерный дизайн фарфорового изолятора-разрядника позволяет существенно повысить надежность системы изоляции и обеспечить эффективную защиту от воздействия грозových импульсов и коммутационных перенапряжений. Таким образом, внедрение новых типов штыревых фарфоровых изоляторов с улучшенными характеристиками является актуальной задачей, направленной на повышение эффективности и надежности эксплуатации высоковольтных сетей.

Цель настоящей статьи заключается в изучении особенностей конструкции и эксплуатационных характеристик нового типа фарфорового штыревого изолятора-разрядника, обладающего повышенной разрядной способностью и устойчивостью к атмосферным воздействиям.

Изолятор-разрядник штыревой фарфоровый мультикамерный (ИРШФМК) является уникальным для класса напряжений 6-20 кВ устройством.

Изолятор-разрядник предназначен для использования одновременно в качестве линейной изоляции для крепления неизолированных и защищённых проводов воздушных линий (ВЛ) электропередачи классов напряжения 6-20 кВ трехфазного переменного тока, и разрядника для защиты ВЛ от отключений и повреждений, возникающих вследствие воздействия индуктированных перенапряжений.

Специально разработанная концепция мультикамерного изолятора-разрядника позволяет сократить издержки на оснащение ВЛ, так как объединяет функции разрядника и изолятора в одном устройстве.

Изолятор-разрядник рассчитан для эксплуатации в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом (УХЛ1 по ГОСТ 15150-69). Возможность применения в районах с различной степенью загрязнения атмосферы зависит от класса напряжения воздушных линий: для ВЛ 6-10 кВ – до III с.з.а. (степень загрязненности атмосферы); для ВЛ 15-20 кВ – I с.з.а.

Изоляторы-разрядники могут монтироваться на опоры вместо обычной изоляции, а прокусывающие зажимы могут быть установлены во время прокладки проводов, что позволяет значительным образом (до 10-15%) сократить строительную смету по отдельным видам работ.

Принцип работы

Основным элементом изолятора-разрядника является мультикамерная система (МКС). Она состоит из большого числа электродов, смонтированных в профиль из силиконовой резины. Между электродами выполнены отверстия, выходящие наружу профиля. Эти отверстия образуют миниатюрные газоразрядные камеры. МКС расположена на нижнем ребре изолятора, и имеет верхний и нижний электроды.

При воздействии перенапряжения на изолятор-разрядник сначала пробивается искровой промежуток между зажимом на проводе и верхним электродом, затем срабатывает МКС изолятора-разрядника и искровой промежуток между нижним электродом изолятора-разрядника и штырем траверсы.



Рис. 1. Изолятор-разрядник

Гашение дуги достигается за счет её разбиения на большое количество маленьких дуг, каждая из которых находится в ограниченном объеме

миниатюрной газоразрядной камеры. Появление в такой камере дуги с чрезвычайно высокой температурой приводит к стремительному росту давления внутри нее, вследствие чего дуга выбрасывается наружу, где происходит ее значительное удлинение, а также интенсивное охлаждение за счет контакта с окружающим воздухом.

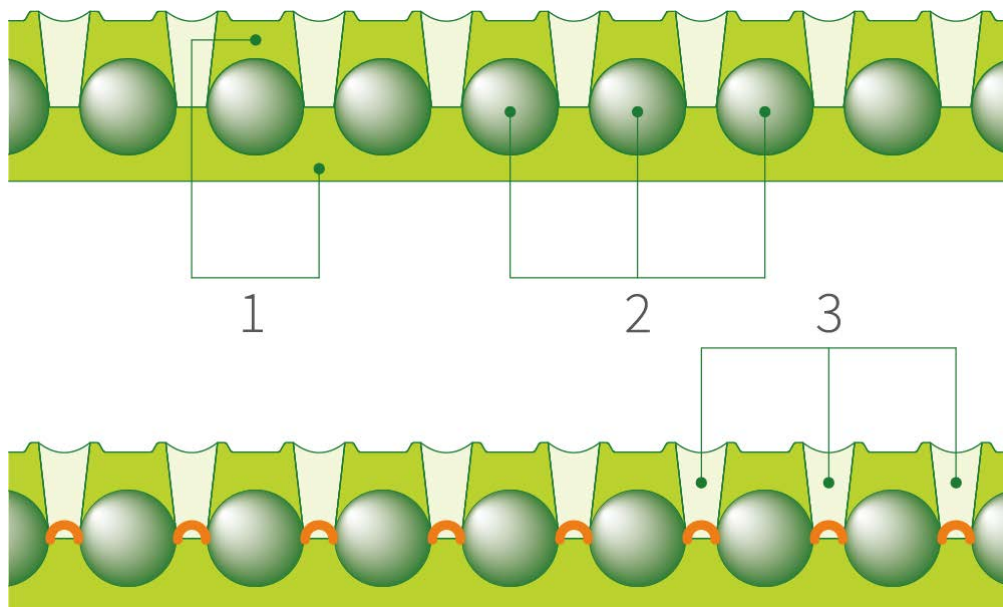


Рис. 2. Схема, поясняющая начальный момент развития разрядов

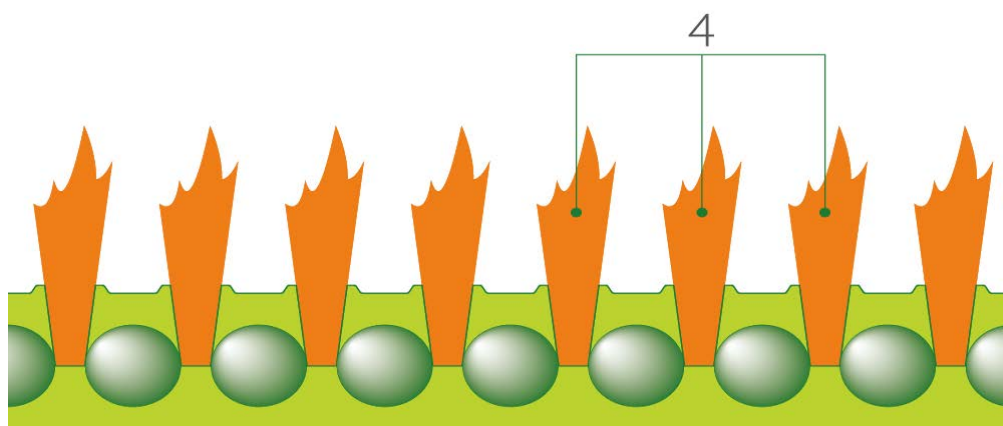


Рис. 3. Схема, поясняющая завершающий момент развития разрядов:

1 – профиль из силиконовой резины; 2 – промежуточные электроды;
3 – дугогосящая камера; 4 – канал разряда

Установка

Изолятор-разрядник ИРШФМК устанавливается на воздушных линиях (ВЛ) с любыми видами опор со штыревой изоляцией класса 20 кВ. ИРШФМК рассчитан для эксплуатации на открытом воздухе в макроклиматических районах с умеренным и холодным климатом (УХЛ1 по ГОСТ 15150-69). Рекомендуемая высота установки ИРШФМК не более 1000 м над уровнем моря. Возможность установки на высоте более 1000 м над уровнем моря должна

согласовываться с предприятием-изготовителем. Изоляционные элементы ИРШФМК устойчивы к воздействию солнечной радиации характеризующейся верхним значением плотности теплового потока (1120 ± 112) Вт/м², в том числе плотности ультрафиолетовой части спектра (68 ± 17) Вт/м². Срок службы ИРШФМК составляет не менее 40 лет. ИРШФМК рекомендованы к применению для снижения числа грозových отключений и пережога проводов в районах с повышенной грозовой активностью (свыше 20 грозových часов в год), на подходах к распределительным устройствам подстанций, в местах пересечения ВЛ с инженерными сооружениями.

На одноцепных ВЛ для защиты от индуктированных перенапряжений и их последствий изоляторы-разрядники устанавливаются по одному на каждую опору с регулярным последовательным чередованием фаз.

На двухцепных ВЛ для защиты от индуктированных перенапряжений и их последствий изоляторы-разрядники устанавливаются по 2 штуки на каждую опору, на одну пару одноименных фаз, по одному разряднику на каждую цепь, с тем же принципом чередования защищаемых фаз, что и для одноцепных ВЛ.

При этом, установка изоляторов-разрядников на опору не накладывает дополнительных требований к наличию заземляющего устройства и его сопротивлению. Отсутствие дополнительных требований к заземлению опор объясняется принципом действия изоляторов-разрядников ИРШФМК-10(20). При возникновении грозového перенапряжения, происходит перекрытие двух разрядников на разноименных фазах, при этом образуется электрический контур, включающий в себя сопротивления заземления этих двух опор (рис.3). Таким образом, наличие сопротивления заземления опор помогает ограничению тока, проходящего через разрядники.

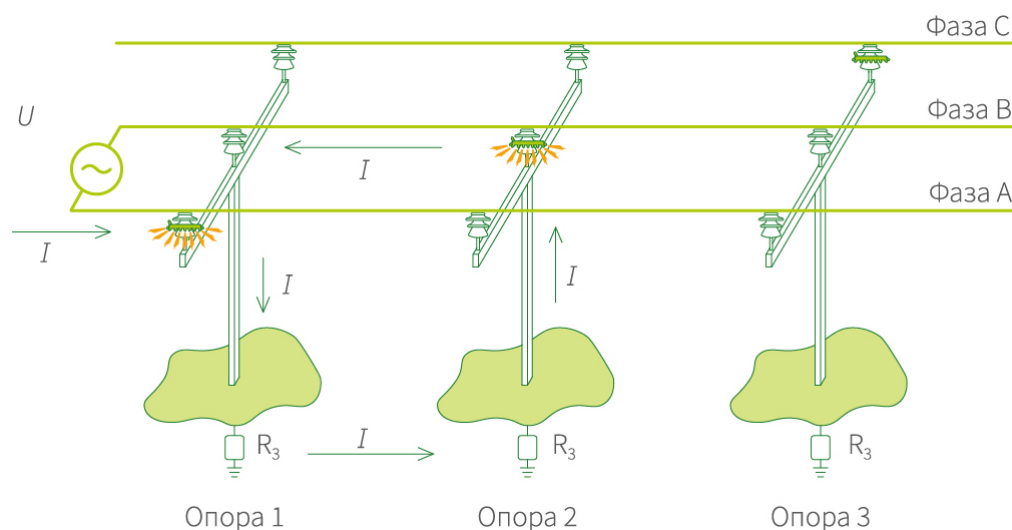


Рис. 4. Контур при возникновении грозového перенапряжения

При установке ИРШФМК на ВЛ необходимо убедиться в том, что в радиусе 300 мм от края ИРШФМК не находятся металлические элементы. Так

как, вследствие большого выхлопа из МКС при срабатывании, возможно перекрытие на арматуру ВЛ, что ведёт к отказу в работе ИРШФМК.

В общем случае установка ИРШФМК на опору не накладывает дополнительных требований к наличию заземляющего устройства и его сопротивлению, деревянные опоры могут не иметь заземляющих спусков. В случае, если сопротивление заземления превышает 100 Ом, при срабатывании ИРШФМК не происходит достаточного ограничения перенапряжения. Для ограничения набегающей волны индуктированного перенапряжения и защиты подстанций следует оборудовать заземляющими устройствами ближайшие к подстанции опоры с ИРШФМК (примерно на протяжении 200 метров до каждой подстанции, но не менее трех опор). Заземляющие устройства должны обеспечивать величину сопротивления, указанную в нормативных документах.

ИРШФМК должен устанавливаться на ВЛ в комплекте с зажимом, закрепляемым на проводе. Зажим имеет три шипа, в соответствии с требованиями СТО 34.01-2.2-037-2021. Зажим закрепляется на проводе или шлейфе напротив верхнего электрода ИРШФМК для создания необходимого искрового промежутка (30 ± 10) мм для ВЛ 6, 10 кВ, то есть от 20 мм до 40 мм. Искровой промежуток выставляется при помощи калибра зазоров. Перед установкой на ВЛ и в процессе эксплуатации не требуется проведение никаких испытаний и проверок электрических характеристик ИРШФМК, поскольку предприятие-изготовитель гарантирует их неизменное долговременное соответствие заданным требованиям.

Основной проблемой при монтаже ИРШФМК, исходя из полученного опыта установки разрядников на ВЛ-10кВ, является контроль за соблюдением установочного диапазона.

После установки необходимо проверить величину искрового промежутка. Конструкция крепления ИРШФМК к элементу ВЛ гарантирует сохранение искрового промежутка в заданном диапазоне и надежность предусмотренных конструкцией механических и электрических соединений в течение всего срока эксплуатации.

ИРШФМК является принципиально новым видом молниезащитных устройств для классов напряжений 6-20 кВ, совмещающим функции линейного изолятора и разрядника для защиты ВЛ от индуктированных перенапряжений и их последствий. За основу устройства взят штыревой фарфоровый изолятор ШФ-20Г1, на ребро которого монтируется мультикамерная система для придания ему функции разрядника. За счет такого решения, МКС ИРШФМК отделена от провода и траверсы искровыми промежутками, благодаря чему МКС не находится под напряжением и не срабатывает при коммутационных перенапряжениях. Но при этом само устройство постоянно находится под потенциалом фазного провода, что обеспечивает его беспрецедентную антивандальность, исключая возможность несанкционированного нанесения порчи или демонтажа ИРШФМК с ВЛ.

ИРШФМК выполняет функции линейной изоляции, а также предотвращает переход искрового перекрытия в силовую дугу промышленной частоты, иными словами, применение ИРШФМК обеспечивает:

- защиту ВЛ от грозовых отключений при индуцированных перенапряжениях;

- защиту проводов от пережога (в случае ВЛ с защищенным проводом);

- защиту изоляторов от повреждений

Применение ИРШФМК регламентируется следующими нормативными документами:

- Правила Устройства Электроустановок изд. 7 от 01.01.2003 г. п. 2.5.118;

- Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (редакция от 02.04.2021 г.) п. 2.5.6.9, п. 2.5.6.10;

- Стандарт организации группы компаний «Россети» СТО 34.01-2.2-037-2021 «Разрядники мультикамерные молниезащитные для воздушных линий электропередачи переменного тока на напряжение 6-110 кВ. Общие технические требования. Правила приёмки и методы испытаний».

Заключение

Проведенное исследование показало высокую перспективность внедрения фарфоровых штыревых изоляторов-разрядников многокамерного типа. Конструкция ИРШФМК обеспечивает высокий уровень изоляции и эффективное гашение разряда даже при экстремальных климатических условиях и механических нагрузках.

Применение описанного выше изолятора-разрядника позволит повысить безопасность и экономичность функционирования высоковольтных линий электропередачи, сократить затраты на обслуживание и ремонт оборудования, а также увеличить надежность энергоснабжения потребителей.

Библиографический список

1. Правила Устройства Электроустановок изд. 7 от 01.01.2003 г. п. 2.5.118.

2. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (редакция от 02.04.2021 г.) п. 2.5.6.9, п. 2.5.6.10.

3. Стандарт организации группы компаний «Россети» СТО 34.01-2.2-037-2021 «Разрядники мультикамерные молниезащитные для воздушных линий электропередачи переменного тока на напряжение 6-110 кВ. Общие технические требования. Правила приёмки и методы испытаний».

4. ГОСТ 27744-88. Изоляторы. Термины и определения.

5. Сайт производителя НПО «Стримпер» https://www.streamer.ru/streamer_products/lightning-protection/induced-lightning/irshfmk/?ysclid=mhqq2dbwk602180617.

© Власов К.В., 2025

М.Н. ЖЕРНОВКОВА

Masha1328.87@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

**АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА
«PF.PROTECTION» ПРИ РАСЧЕТАХ ТОКОВ КОРОТКОГО
ЗАМЫКАНИЯ И ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ УСТРОЙСТВ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ**

Аннотация: в настоящее время внедрение программных продуктов играет огромную роль в трансформации, автоматизации и оптимизации электроэнергетики. Релейная защита является элементом энергосистемы, которая обеспечивает надежную и безаварийную работу. Для безошибочного и высокоточного расчета токов короткого замыкания и параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики (РЗА) необходима программа, в которой можно было бы моделировать энергосистему в реальном времени, использовать точные и актуальные данные о параметрах оборудования, а так же вносить их корректировку в соответствии с текущими условиями работы сети, учитывать влияние смежных энергосистем, проводить автоматический многовариантный анализ расчетных данных.

Ключевые слова: единая информационная модель, релейная защита и автоматика, расчетная модель сети, расчет токов короткого замыкания.

В области релейной защиты и автоматики постоянно идет автоматизация, оптимизация и цифровизация с учетом новых технологических достижений и требований к энергосистемам [5]. Системы релейной защиты и автоматики (РЗА) должны мгновенно реагировать на возникающие аварийные ситуации и минимизировать их последствия. Для этого расчетчики РЗА проводят расчеты токов короткого замыкания и определяют оптимальные значения параметров (уставок) срабатывания защиты. В настоящее время существуют программные комплексы, которые упрощают и ускоряют процесс расчета. Наиболее доступными и распространенными программами являются: Автоматизированное Рабочее Место Релейной Защиты и Автоматики (АРМ РЗА) [6], Программно-Вычислительный Комплекс Автоматизированного Расчета Уставок Релейной Защиты и Автоматики (ПВК АРУ РЗА) [7].

АРМ РЗА – это комплексное программное обеспечение, предназначенное для автоматизации всего цикла работы специалистов РЗА, начиная от проектирования и заканчивая эксплуатацией и анализом работы защиты. ПВК АРУ РЗА сосредоточен на расчете уставок устройств РЗА, позволяет

быстро и точно рассчитать их. Имеет более простой интерфейс и функциональность.

Самой главной проблемой для расчетчиков РЗА является обеспечение точной и актуальной информации в исходных данных. Длина, марка провода, удельное сопротивление, индуктивность и емкость линии электропередачи (ЛЭП), а также значения номинальной мощности, напряжения, схемы соединения обмоток, параметров схемы замещения трансформаторов, могут быть неточными или устаревшими, что приводит к некорректному расчету токов короткого замыкания и выбору уставок защит.

Для того, чтобы упорядочить информационные потоки между отдельными предприятиями, обеспечить высокое качество используемых данных, снизить их разнородность и разновременность обновления, в настоящее время создается расчетная модель, которая входит в состав единой информационной модели [3]. Это будет цифровой двойник реальной энергосистемы в программном обеспечении. В ней будут сосредоточены все параметры энергосистемы, оборудования и устройства релейной защиты и автоматики. Расчетная модель будет представлять математическую модель сети, в своем уникальном формате, в которой будет выполняться актуализация при изменении сети в реальном времени [1]. Организован информационный обмен между субъектами электроэнергетики с использованием стандартов серии «Информационная модель электроэнергетики» (Common Information Model, CIM) [8].

На рынке отечественного программного обеспечения появился специализированный программный продукт PF.Protection, являющийся разработкой АО «РТСофт» [2]. Преимущество программного обеспечения (ПО) PF.Protection заключается в интеграции с единой информационной моделью (ЕИМ). Совместимость программного продукта с ЕИМ обеспечит автоматизацию основных технологических задач службы РЗА:

- 1) снижение числа аварий на энергообъектах и в энергосистемах по причине ошибок расчета уставок и токов короткого замыкания;
- 2) повышение качества и скорости расчетов и согласования проектных решений и заданий на параметрирование РЗА;
- 3) цифровизация делового процесса настройки РЗА: формирование бланка, выдача и контроль исполнения заданий на параметрирование РЗА;
- 4) выявление нарушений в работе РЗА по условиям чувствительности и селективности во всех ремонтных, аварийных и перспективных условиях энергообъекта.

ПО PF.Protection позволяет проводить расчеты ТКЗ различной сложности, включая симметричные и несимметричные режимы, учитывать влияние различных факторов (например, насыщение трансформаторов, дугостойкость), а также проводить анализ устойчивости и оптимизацию работы энергосистемы. Программное обеспечение не требует адаптации к требованиям по расчету и выбору параметров настройки устройств РЗА, принятым в РФ, так как в нём заложены требования новейших методик, стандартов, нормативно-технической документации, руководящих указаний, рекомендации завода-изготовителя.

Содержит библиотеки отечественных и зарубежных моделей устройств РЗА, эксплуатируемых в ЕЭС РФ [4]. Большую часть анализа проводит автоматически, просчитывая наиболее оптимальный вариант задания параметров настройки устройств РЗА.

Реализация программного обеспечения, должна проходить под контролем и управлением квалифицированных специалистов служб РЗА. Для этого необходимо провести обучающие тренинги и практические занятия от производителя, организовать поддержку в период адаптации, включая создание материалов и инструкций, запустить пилотный проект, чтобы оценить работу ПО в реальных условиях, провести семинары для сбора мнений и отзывов сотрудников о работе ПО, для выявления возможных проблем или неудобств, организовать постоянную техническую поддержку, регулярную проверку обновлений и установку новых функций от разработчика.

Заключение

Совместимость программного продукта PF.Protection с Единой информационной моделью намного облегчает труд специалистов РЗА, сокращает время и трудозатраты на расчетно-аналитическую деятельность, снижает число ошибок и увеличивает точность расчетов токов короткого замыкания и параметров настройки устройств РЗА, обеспечивая надежность работы энергосистемы.

Библиографический список

1. Common Information Model в России и в мире (№1, 2021 г.) – конференция АО «СО ЕЭС». – URL: <https://rutube.ru/plst/62391>.
2. Официальный сайт RTSoft. – URL: <https://www.rtsoft.ru>.
3. Концепция «Цифровая трансформация 2030» ПАО «Россети», 2018. – С. 31.
4. Научно-технический журнал «Мир компьютерной автоматизации. Век XXI». – 2017. – № 1. – С. 41.
5. Шарыгин М.В., Куликов А.Л., Фальков А.А. Автоматизация расчета адаптивной многопараметрической релейной защиты для реконфигурируемых распределительных сетей - Релейщик, 2022. – С. 26.
6. <https://pk-briz.ru>
7. https://ntcees.ru/aru_rza/aru_rza.php
8. https://ntcees.ru/news/2023/NTC_CIM_2023.pdf

© Жерновкова М.Н., 2025

Ш.М. ЗАКИРОВ

shamil.zakirov.2003.15@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Т.А. ВОЛКОВА

Уфимский университет науки и технологий

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ
ОБРАТИМОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СРАВНЕНИИ
С РАЗДЕЛЬНЫМИ НАСОСНО-ТУРБИННЫМИ АГРЕГАТАМИ
В ГИДРОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Аннотация: в данной статье проводится комплексный технико-экономический анализ обратимой синхронной машины для определения области их эффективного применения.

Ключевые слова: гидроаккумулирующая электростанция; обратимая синхронная машина; отдельные насосно-турбинные агрегаты.

Современная электроэнергетика, характеризующаяся растущей долей нестабильных возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнце и ветер, остро нуждается в мощных и гибких аккумулирующих мощностях. Гидроаккумулирующие электростанции являются на сегодняшний день наиболее отработанной и массивной технологией хранения энергии в масштабах энергосистемы [1].

Гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС) (рис. 1) – гидроэлектростанция, используемая для выравнивания суточной неоднородности графика электрической нагрузки. Принцип действия состоит в закачивании воды в высоко расположенный водоем, используя избыточно вырабатываемую сетевую энергию в период наименьшего потребления, и затем спуске ее обратно с выработкой электроэнергии в период наибольшего потребления [2].

Одним из ключевых проектных решений при строительстве ГАЭС является выбор типа силового агрегата. Существуют две принципиально разные конфигурации:

1. С обратимой синхронной машиной (далее – ОСМ). Один агрегат выполняет сразу две функции. В турбинном режиме при срабатывании воды верхнего водоема, она работает как синхронный гидрогенератор. В насосном режиме обратимая электрическая машина работает как синхронный электродвигатель.

2. С отдельными насосно-турбинными агрегатами (далее – РНТА). Два независимых агрегата – турбина с генератором и насос с двигателем.

Целью данного исследования является проведение комплексного технико-экономического анализа данных конфигураций для определения области их эффективного применения.

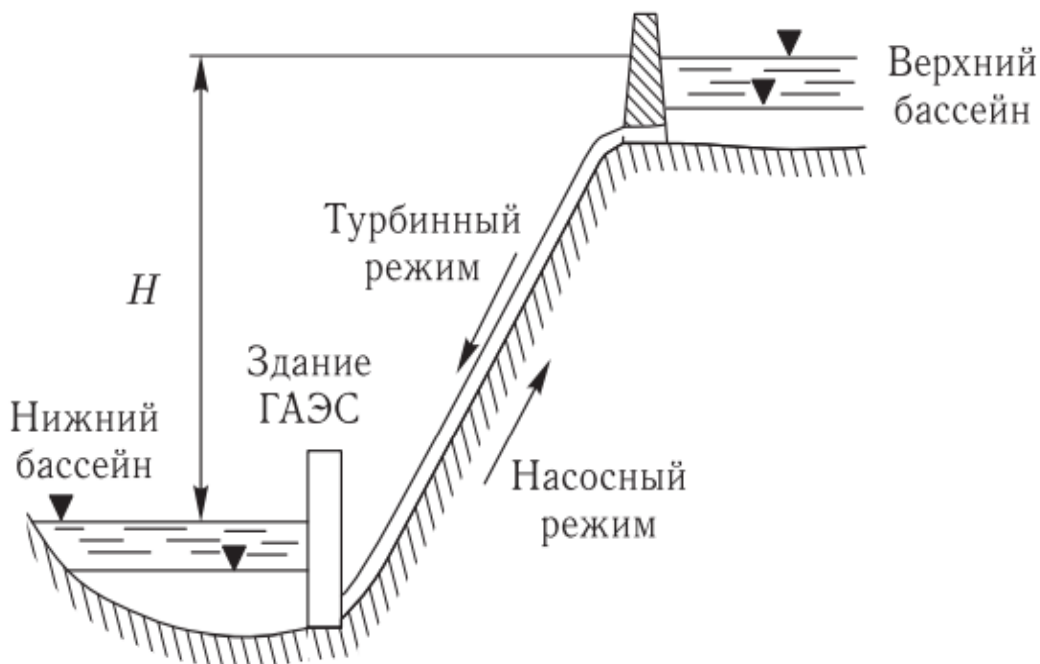


Рис. 1. Схема гидроаккумулирующей электростанции

1. Энергетическая эффективность – коэффициент полезного действия (КПД):

- РНТА: каждый агрегат оптимизирован под свой режим работы. Турбина и насос имеют максимально возможный КПД в своей узкой зоне (до 92-94%). Суммарный КПД может быть на 1–3% выше, чем у обратимого агрегата [3];

- ОСМ: турбина-насос представляет собой компромиссное решение. Ее КПД в генераторном режиме несколько ниже, чем у специализированной турбины, и в насосном режиме – ниже, чем у специализированного насоса. Однако современные обратимые машины достигли высокого уровня совершенства, и их КПД в обоих режимах превышает 90% [4].

2. Капитальные затраты (CAPEX):

- РНТА: требуются два полных комплекта вращающегося оборудования, два комплекта систем возбуждения/управления, более сложные и длинные водоводы, большая площадь машинного зала. Это приводит к значительному увеличению капитальных вложений;

- ОСМ: один агрегат, одна система возбуждения, более компактный машинный зал. Снижение затрат на строительно-монтажные работы и оборудование оценивается в 15–25% по сравнению с РНТА.

3. Эксплуатационные расходы и надежность (OPEX):

- РНТА: больше вращающихся частей и вспомогательного оборудования, что потенциально увеличивает объем технического обслуживания и риск

отказов. Однако при выходе из строя одного агрегата второй может оставаться в работе;

– ОСМ: Меньше оборудования, ниже эксплуатационные расходы. Однако агрегат подвержен более интенсивному износу из-за частых пусков, остановок и реверсов. Выход из строя ОСМ означает полную потерю мощности агрегата.

4. Гибкость и быстроедействие:

– ОСМ: быстрый переход между режимами является ключевым преимуществом. Современные системы частотного пуска позволяют осуществить переход из режима генерации в режим *pumping* за 5-10 минут;

– РНТА: переключение между режимами требует остановки и пуска разных машин, что занимает больше времени.

Таблица 1

Сравнение экономических показателей

Критерий	Обратимая синхронная машина (ОСМ)	Раздельные насосно-турбинные агрегаты (РНТА)	Комментарий
Удельные капитальные затраты (CAPEX)	42–48 тыс. руб./кВт	52–60 тыс. руб./кВт	Преимущество ОСМ в 18-25% обусловлено одним комплектом оборудования и меньшими строительными объемами [1, р. 25].
Дисконтированный срок окупаемости	8–10 лет	12–15 лет	Расчет для базового сценария цены на электроэнергию. ОСМ менее зависим от колебаний тарифов для выхода на окупаемость.
Чистая приведенная стоимость (NPV)	Выше на 20–30%	Ниже	При равных прочих условиях проект с ОСМ демонстрирует более высокую инвестиционную привлекательность [1, р. 33].
Уровнизированная стоимость хранения (LCOS)	5.0–5.8 руб./кВт·ч	6.2–7.0 руб./кВт·ч	Более низкий LCOS ОСМ напрямую следует из меньших CAPEX, несмотря на небольшой проигрыш в КПД [1, р. 31].
Критическая цена для окупаемости	~4.8 руб./кВт·ч	~5.9 руб./кВт·ч	Минимальная цена электроэнергии, при которой проект выходит на окупаемость. ОСМ менее рискован для рынков с невысокими ценами.

Далее приведена сравнительная экономическая эффективность конфигураций силового агрегата для ГАЭС (на примере проекта мощностью 100 МВт). Анализ результатов, согласно таблице 1, показывает, что несмотря на несколько более низкий КПД, схема с ОСМ демонстрирует значительно лучшие экономические показатели. Более низкие капитальные вложения являются решающим фактором. Проект с ОСМ окупается почти на 7 лет раньше, что существенно снижает инвестиционные риски.

Таблица 1 составлена на основе агрегированных данных из Отчета Международного энергетического агентства (IEA) по проектам накопителей энергии (*IEA Energy Storage Technology Brief, Hydropower and Pumped Storage Hydropower*, 2023) [1] и их адаптации к условным рыночным условиям.

Использование РНТА может быть экономически оправдано в специфических случаях: при чрезвычайно высоких напорах (где создать эффективную обратимую турбину-насос технически невозможно), а также в узконаправленных проектах, где приоритетом является абсолютно максимальный КПД каждого цикла, а не стоимость строительства. В основном проведенное технико-экономическое обоснование убедительно доказывает, что применение обратимой синхронной машины является предпочтительным для подавляющего большинства проектов ГАЭС.

Библиографический список

1. Международное энергетическое агентство (IEA). The Role of Energy Storage in Secure Power Systems. – 2020.
2. Гидроаккумулирующая электростанция. [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроаккумулирующая_электростанция (дата обращения: 01.11.2025)
3. Муравьев О.А. Гидроаккумулирующие электростанции / Изд.: МИСИ - МГСУ, 2023.
4. Панченко, А.В. Современные обратимые гидротурбины: достижения и перспективы // Гидротехническое строительство. – 2021. – № 5. – С. 34–39.

© Закиров Ш.М., 2025

С.С. ЗАХАРОВ

stas_zakharov_2003@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент О.А. ЮШКОВА

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНЕНИЕ СХЕМ ГИБРИДНЫХ УСТАНОВОК АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: в данной статье рассматриваются виды гибридных установок автомобилей и определяется их оптимальный выбор.

Ключевые слова: гибрид; гибридная; схемы; автомобили; серийная; параллельная; смешанная.

Гибридные автомобили за последние годы перестали быть экзотикой. Всё чаще их можно встретить не только на дорогах мегаполисов, но и в небольших городах. Рост популярности объясняется стремлением снизить расход топлива, уменьшить выбросы и сделать транспорт более эффективным. Основой успеха гибридных машин стала силовая установка, объединяющая двигатель внутреннего сгорания и электромотор. Но схемы их взаимодействия могут быть разными – именно от этого зависят динамика, надёжность и экономичность автомобиля.

Основные типы гибридных силовых установок

Последовательная схема – самая простая по конструкции. В ней двигатель внутреннего сгорания не связан напрямую с колёсами. Он работает как генератор, обеспечивая питание электродвигателя, который и приводит машину в движение. В такой конфигурации ДВС может функционировать в оптимальном режиме, что снижает расход топлива. Ключевое преимущество – плавность хода и отсутствие необходимости в сложной трансмиссии. Однако есть и минусы: потери энергии при преобразованиях, ограничение мощности и снижение эффективности на высоких скоростях [1].

Параллельная схема устроена иначе. Здесь и ДВС, и электромотор могут одновременно передавать крутящий момент на колёса. Это делает автомобиль более динамичным и позволяет выбирать наиболее эффективный источник тяги в зависимости от условий движения. На трассе большую часть работы берёт на себя двигатель внутреннего сгорания, а в городском цикле активнее используется электротяга. При всех преимуществах такая схема требует сложной системы управления, которая координирует работу двух силовых агрегатов [3].

На рисунке 1 представлено распределение мощности в смешанной схеме, где просматривается четкая стратегия управления энергетическими потоками, оптимизированная для различных условий эксплуатации.

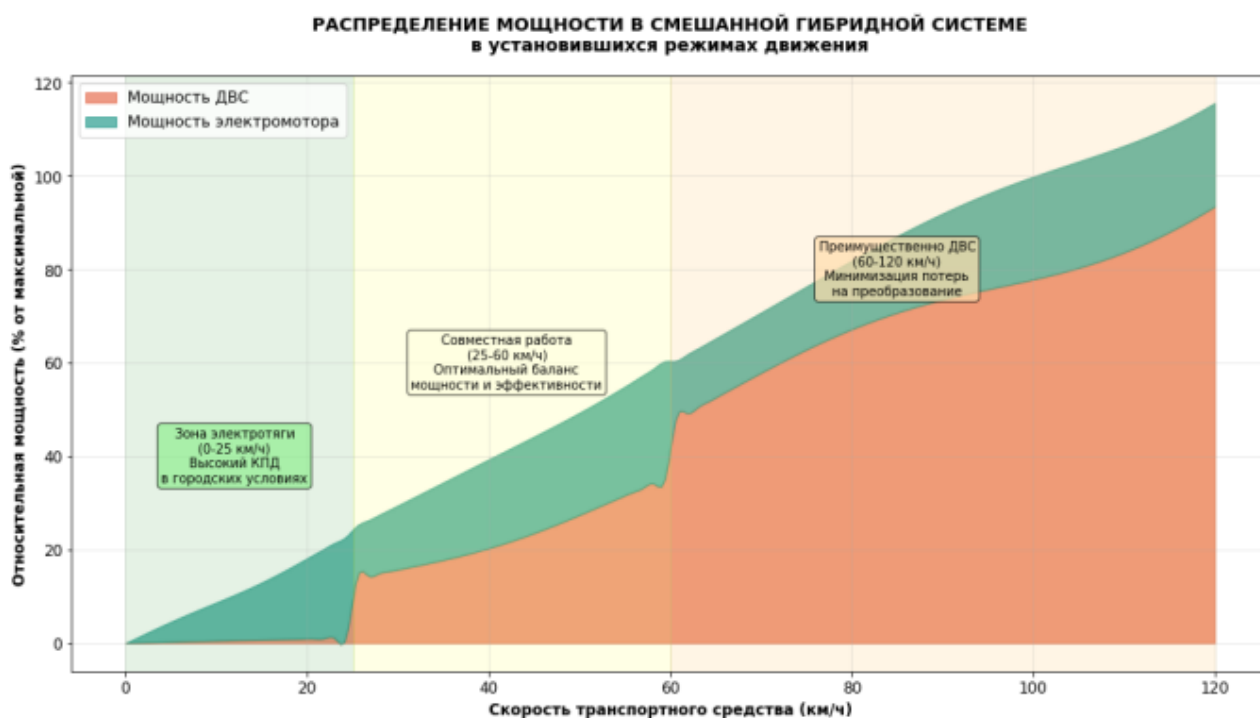


Рис. 1. Распределение мощности в смешанной схеме

Как видно из рисунка 1 смешанная, или комбинированная, схема объединяет достоинства первых двух вариантов. В ней используется планетарный редуктор, распределяющий энергию между двигателями, благодаря чему автомобиль может работать как в чисто электрическом, так и в гибридном режиме. Это даёт гибкость и повышает эффективность, но усложняет конструкцию и повышает стоимость. Именно по этой схеме построены установки Toyota Hybrid Synergy Drive [4], ставшие эталоном в своём классе.

На скоростях от 25 до 60 км/ч система переходит в режим совместной работы, где мощность оптимально распределяется между механическим и электрическим каналами, обеспечивая баланс между эффективностью и динамическими характеристиками. При движении на высоких скоростях (свыше 60 км/ч) смешанная схема использует преимущественно механический путь передачи мощности, минимизируя потери на двойное преобразование энергии. Такая адаптивная стратегия управления позволяет смешанной схеме демонстрировать стабильно высокий КПД во всем диапазоне скоростей, что объясняет ее превосходство над последовательными и параллельными схемами в смешанных условиях эксплуатации.

При скоростях выше 60 км/ч система переходит в режим с преобладанием мощности ДВС, минимизируя потери на преобразование энергии. Такая стратегия управления позволяет поддерживать высокий КПД во всем диапазоне скоростей.

Сравнительный анализ схем гибридных установок

На рисунке 2 представлено сравнение эффективности гибридных систем в различных циклах движения – по городу и на трассе.

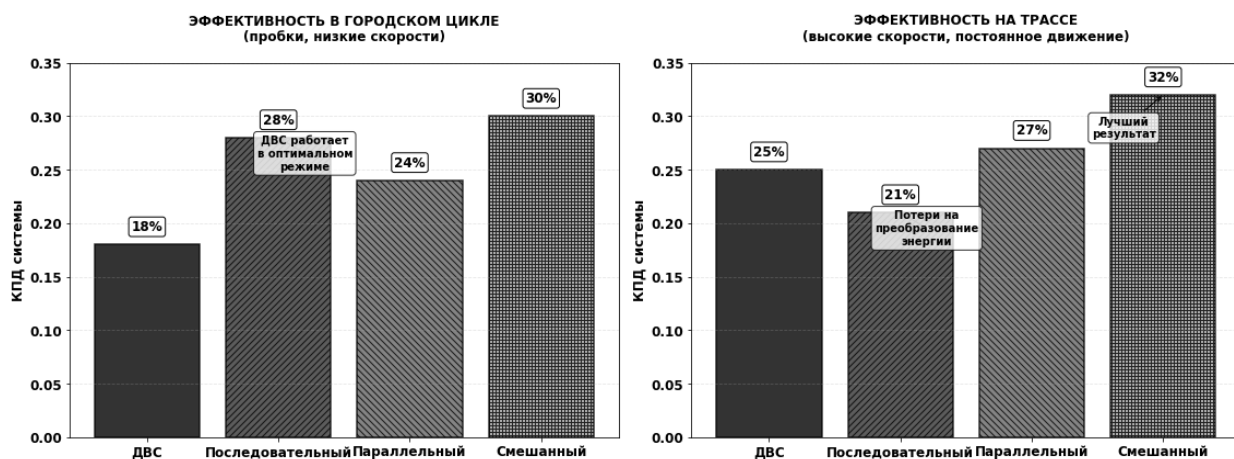


Рис. 2. Эффективность гибридных систем в различных циклах движения

Исходя из рис. 2, с точки зрения энергетической эффективности последовательная схема лучше проявляет себя при движении в городских условиях, где частые остановки и невысокие скорости. Электродвигатель обеспечивает плавный старт и возможность рекуперации энергии при торможении. Параллельная система выигрывает на трассе, где важна мощность и высокая скорость. Комбинированная схема показывает наилучшие результаты при смешанном цикле, благодаря автоматическому распределению нагрузки между ДВС и электродвигателем.

Если рассматривать особенности конструкции и стоимость обслуживания, то здесь лидирует последовательная схема – она проще и дешевле в обслуживании. Параллельная требует более точной настройки и сложной трансмиссии, что повышает цену ремонта. Смешанная конструкция наиболее технологична, но при этом дороже в производстве и требует квалифицированного обслуживания [6].

По экологическим и эксплуатационным показателям гибридные автомобили в целом превосходят классические машины. Выбросы CO₂ заметно ниже, особенно в городском цикле. Последовательные и комбинированные схемы обеспечивают минимальный уровень шума при движении на электротяге. Однако срок службы аккумуляторов остаётся одним из самых уязвимых мест: деградация батареи со временем снижает эффективность системы. В последние годы производители активно работают над повышением ресурса аккумуляторов и уменьшением их стоимости [7].

Тенденции развития гибридных технологий

Современные инженерные решения делают гибриды всё более совершенными. Активно внедряются компактные и ёмкие аккумуляторы, способные обеспечивать большой запас хода на электротяге. Развиваются системы рекуперации, позволяющие возвращать больше энергии при торможении. Интеллектуальные блоки управления анализируют стиль езды и автоматически подбирают оптимальный режим работы установки [5].

В последние годы заметна интеграция гибридных технологий с электромобилями и водородными системами. Распространяются plug-in

гибриды, которые можно подзаряжать от сети, используя их как полноценный электромобиль на коротких дистанциях. Появляются проекты гибридов с водородным топливным элементом, где двигатель внутреннего сгорания заменяется генератором на водороде. Это создаёт мост между традиционными и полностью электрическими технологиями. Если говорить о перспективах распространения, то будущее гибридов во многом зависит от государственной политики и экологических стандартов. Строгие нормы выбросов стимулируют производителей развивать именно гибридные решения как промежуточный этап к полной электрификации. С каждым годом снижается себестоимость аккумуляторов, что делает гибриды доступнее [5].

Таким образом, в работе выявлено, что каждая схема гибридной установки имеет свои сильные и слабые стороны. Последовательная – проста и экономична в городе, параллельная – эффективна на трассе, а комбинированная объединяет их преимущества, обеспечивая оптимальный баланс. Всё это делает гибридные автомобили важным этапом перехода от традиционного ДВС к полному электродвижению. Постепенное совершенствование технологий, рост ёмкости батарей и развитие инфраструктуры зарядки открывают гибридным системам широкие перспективы на ближайшее будущее.

Библиографический список

1. Афанасьев, К. В. Современные гибридные силовые установки автомобилей. – М.: Машиностроение, 2020. – 312 с.
2. Романов, Е. В. Перспективы развития гибридных транспортных средств в условиях перехода к электромобилям // Автотранспортное предприятие. – 2022. – № 3. – С. 17–24.
3. Toyota Hybrid System Explained. – Toyota Global Newsroom. – URL: <https://global.toyota/en/hybrid/> (дата обращения: 05.11.2025).
4. Global EV Outlook 2024. – International Energy Agency. – URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024> (дата обращения: 05.11.2025).
5. What Is a Hybrid Car? – U.S. Department of Energy, Alternative Fuels Data Center. – URL: <https://afdc.energy.gov/vehicles/hybrids.html> (дата обращения: 05.11.2025).

© Захаров С.С., 2025

ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА ДЛЯ ЗАКРЫЛКОВ САМОЛЕТА

Аннотация: в статье проводится сравнительный анализ способов исполнения двигателя постоянного тока для привода закрылков.

Ключевые слова: двигатель постоянного тока; бесконтактный двигатель постоянного тока; электропривод; закрылки; электродвигатель.

Системы управления механизацией крыла самолета, в частности закрылками, являются критически важными для обеспечения безопасности и управляемости самолёта на взлётно-посадочных режимах. Закрылки, отклоняясь, увеличивают подъемную силу и сопротивление, что позволяет снизить взлетную и посадочную скорости.

Закрылок – профилированная отклоняемая поверхность, симметрично расположенная на задней кромке крыла, элемент механизации крыла [1]. Закрылки в убранном состоянии являются продолжением поверхности крыла, тогда как в выпущенном состоянии могут отходить от него с образованием щелей. Используются для улучшения несущей способности крыла во время взлёта, набора высоты, снижения и посадки, а также при полёте на малых скоростях.

Электропривод закрылков требует высоконадежного, мощного и точного исполнительного механизма, в качестве которого часто выступает двигатель постоянного тока (ДПТ). Именно использование ДПТ позволяет обеспечить высокие надежность и безопасность полетов, точность и быстродействие управления, оптимизацию массогабаритных показателей авиационных систем.

Существует традиционный тип двигателя постоянного тока с щеточно-коллекторным узлом (ЩКУ) и бесконтактные двигатели постоянного тока (БДПТ). Рассмотрим преимущества и недостатки обоих типов двигателей в системе управления закрылков.

1. Двигатель постоянного тока.

ДПТ обладает простотой управления, высоким пусковым моментом, высокой перегрузочной способностью и отказоустойчивостью системы управления, а также дешевыми и простыми ремонтом и эксплуатацией благодаря простоте своей конструкции [2, 3].

Однако, существенным недостатком ДПТ является наличие щеточно-коллекторного узла, в котором возможно возникновение искрения. Это снижает

срок службы двигателя, требует тщательного обслуживания в процессе эксплуатации и является источником электромагнитных шумов и помех.

2. Бесконтактный двигатель постоянного тока.

Альтернативой коллекторным электродвигателям стали БДПТ, в которых ЩКУ отсутствует, вследствие чего такие двигатели имеют высокую надежность, длительный срок службы и низкий уровень шума, более высокий КПД, мощность и крутящий момент.

Несмотря на свои достоинства БДПТ имеют более сложную конструкцию и систему управления, что делает их более дорогими в производстве и эксплуатации.

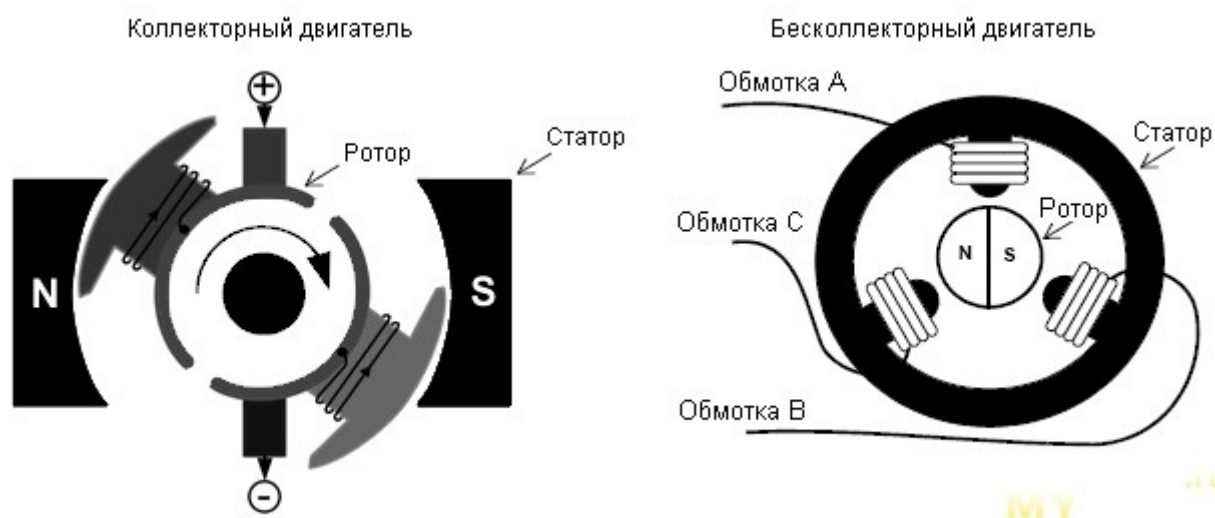


Рис. 1. Конструкции двигателей постоянного тока (ДПТ и БДПТ)

Сравнительный анализ двигателей позволяет сделать следующие выводы:

1. Двигатель постоянного тока

- применяется в устаревших системах либо в малой авиации;
- для борьбы с шумами и радиопомехами в двигателях экранируют проводники и добавляют фильтр в систему управления;
- резервирование таких двигателей обходится дешевле, так как покупка или замена нескольких ДПТ обойдется дешевле, чем его аналог.

2. Бесконтактный двигатель постоянного тока:

- применяется в более современных и перспективных системах;
- эксплуатация при низких температурах требует наличие дополнительного источника – теплонагревателя для поддержания магнитных свойств постоянных магнитов на необходимом уровне;
- система управления уязвима перед скачками напряжения.

Поэтому в электромеханизмах закрылков летательных аппаратов предпочтительнее использование ДПТ вследствие простоты и дешевизны производства, эксплуатации, ремонта, управления и резервирования. ДПТ

обладают высоким уровнем отказоустойчивости и перегрузочной способности, высоким пусковым моментом.

Библиографический список

1. Закрылок [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.ruwiki.ru/wiki/Закрылок> (дата обращения: 05.11.2025).
2. Электрооборудование летательных аппаратов: учебник для вузов: В 2-х т. / Под ред. С.А. Грузкова. – М.: Изд-во МЭИ, 2005.
Т. 2: Элементы и системы электрооборудования – приемники электрической энергии. – 2008. – 552 с.
3. Силантьев, А. Е. Сравнение бесконтактных двигателей постоянного тока с традиционными двигателями // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всероссийской молодёжной научной конференции (г. Уфа, 25 – 29 ноября 2024 г.) [Электронный ресурс] / Уфимск. ун-т науки и технологий. – Уфа: РИЦ УУНиТ, 2024. – 356 с. – URL: <https://uust.ru/digitalpublications/2024/274.pdf> – (дата обращения: 05.11.2025).

© Малаев А.У., 2025

А.В. МАХИЯНОВ

artur.makhiyanov.sems510@mail.ru

Науч. руковод. – док. техн. наук, проф. Р.Р. САТТАРОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ВЛИЯНИЕ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ НА НАПРЯЖЕНИЕ И МЕТОДЫ ЕГО СТАБИЛИЗАЦИИ

Аннотация: в статье рассматривается влияние ветровой нагрузки на напряжение, вырабатываемое ветрогенераторами, и анализируются современные технические решения для стабилизации выходных параметров. Обоснована актуальность применения электронных, инверторных и схемных методов в условиях переменного ветра. Приведены сравнительные характеристики различных решений с акцентом на надежность и энергоэффективность.

Ключевые слова: ветроэнергетика; напряжение; стабилизация; ветрогенератор; нагрузка; электромагнитная муфта; инвертор; компенсация реактивной мощности; управление; выходные параметры; автоматизация; качество энергии; сети; мощность; регулирование.

Ветровая энергия является одним из перспективных источников возобновляемой энергии, и совершенствование методов её выработки и качества значительно влияет на развитие энергетики [1]. Одной из ключевых проблем в эксплуатации ветроэнергетических установок (ВЭУ) является нестабильность выходных электропараметров из-за переменной скорости ветра [2]. Изменение скорости ветра влияет на скорость вращения ротора генератора и приводит к колебаниям частоты и амплитуды напряжения на выходе, что негативно сказывается на качестве электроснабжения и надежности электросети [3, 4].

Колебания активной и реактивной мощности, возникающие при изменяющейся ветровой нагрузке, вызывают значительные отклонения напряжения на шинах ВЭУ и в точке подключения к сети (РСС) [5]. В современных системах управления электроснабжением, таких как SCADA и EMS, непосредственной стабилизации напряжения не происходит, однако данные системы осуществляют мониторинг, анализируют параметры в реальном времени и управляют работой устройств, отвечающих за поддержание стабильности электропитания [6]. К числу таких устройств относятся регуляторы напряжения, инверторы, системы компенсации реактивной мощности и электромагнитные муфты.

Одним из эффективных технических решений является использование электромагнитной муфты с обмоткой управления, которая через передающее устройство соединяется с датчиком скорости и ведущим валом генератора.

Выходной вал муфты связан с ротором многоскоростного асинхронного генератора. Важную роль играют дополнительные конденсаторы возбуждения и различные схемы коммутации, обеспечивающие качественную стабилизацию напряжения и частоты в широком диапазоне изменения ветровой нагрузки.

Для регулирования параметров генератора применяются формирователи импульсов и устройства синхронизации, которые вместе с усилителями обеспечивают своевременное и точное управление обмотками электромагнитной муфты, поддерживая стабильность выходных электропараметров [7, 8]. Данная система способствует повышению энергоэффективности, снижению износа оборудования и увеличению срока службы ветроустановок.

Кроме того, для компенсации колебаний и поддержания качества электроэнергии используются инверторные технологии и автоматизированные системы управления мощностью, позволяющие быстро адаптироваться к изменениям нагрузки и внешних условий. Использование накопителей энергии и различных схем оптимизации работы нагрузки обеспечивает дальнейшее сглаживание неравномерности выходных параметров [9] (рис. 1).

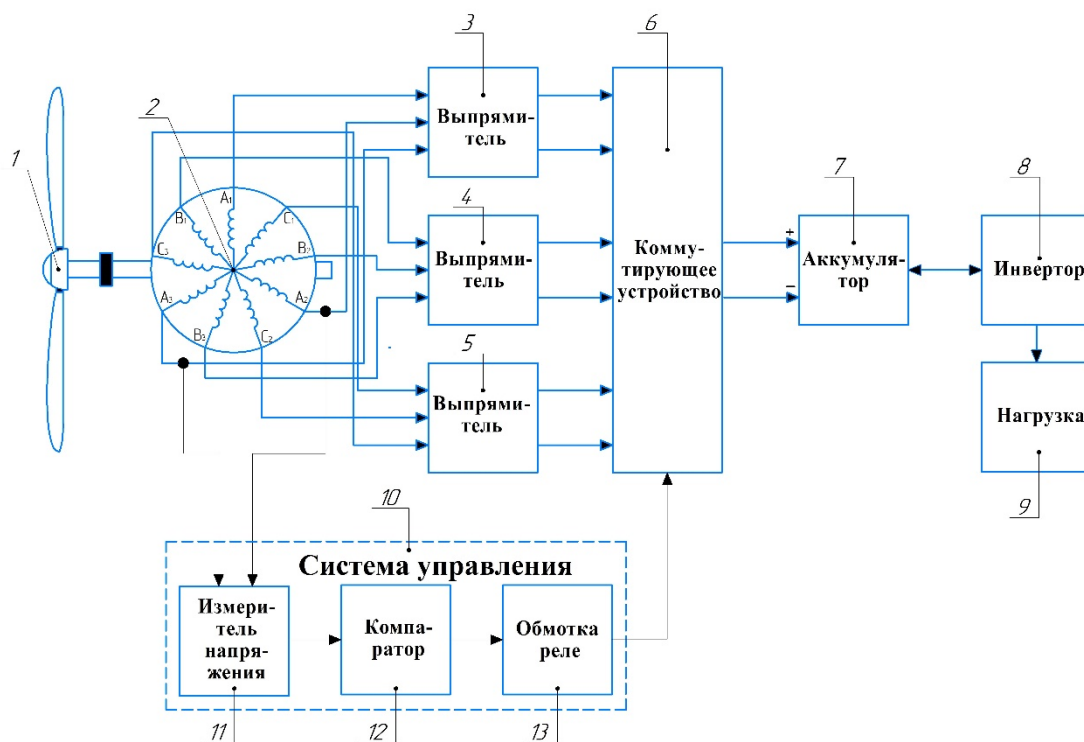


Рис. 1. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором [9]:

- 1 – ветроколесо; 2 – девятифазный генератор с постоянными магнитами;
- 3, 4, 5 – выпрямитель; 6 – коммутирующее устройство; 7 – аккумулятор;
- 8 – инвертор; 9 – нагрузка; 10 – система управления;
- 11 – измеритель напряжения; 12 – компаратор; 13 – обмотка реле

Проведённые исследования демонстрируют, что комплексный подход к стабилизации напряжения с применением упомянутых методов позволяет существенно повысить надежность и эффективность работы ветроэнергетических систем. Современные схемные решения основаны на

широком использовании современных электронных компонентов и цифровых систем управления, что обеспечивает гибкость и устойчивость электроснабжения [10, 11].

Перспективы развития стабилизации напряжения в ветроэнергетике связаны с интеграцией искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования оптимальных режимов работы, а также внедрением новых материалов и технологий силовой электроники [12]. Это позволит повысить качество электроэнергии и увеличить долю возобновляемых источников в энергосистемах.

Библиографический список

1. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с. – ISBN 978-5-283-03272-9.
2. Голицын, М. В. Альтернативные энергоносители / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Пронина; М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. М. Пронина; Рос. акад. наук, Ин-т физики атмосферы им. А. М. Обухова, Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Москва: Наука, 2004. – ISBN 5-02-033065-5.
3. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.
4. Sattarov, R. Twin-Generator Reconfigurable Set for Wind Power Plant / R. Sattarov, A. Makhianov // Proceedings 2023 Russian Workshop on Power Engineering and Automation of Metallurgy Industry: Research & Practice (PEAMI), Magnitogorsk, 29 сентября – 01 2023 года. – Magnitogorsk: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023. – P. 145-149.
5. Янсон, Р. А. Ветроустановки / Р. А. Янсон. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. – 36 с. – ISBN 5-7038-2919-4.
6. Николаев, В. Г. Национальный Кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения / В. Г. Николаев, С. В. Ганага, Ю. И. Кудряшов; Научно-информационный центр "Атмограф", Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского и ОАО РАО «ЕЭС России». – Москва: Атмограф, 2008. – 581 с.
7. Патент на полезную модель № 219901 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02K 21/12. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками: № 2023110888: заявл. 26.04.2023; опубл. 11.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

8. Махиянов, А. В. Горизонтально-турбинная девятифазная ветроустановка для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей / А. В. Махиянов // ЭНЕРГОСТАРТ: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ VII МЕЖДУНАРОДНОЙ МОЛОДЕЖНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Кемерово, 24–26 октября 2024 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2025. – С. 310.1-310.5.
9. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором: № 2023102807: заявл. 07.02.2023: опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
10. Стабилизация напряжения и частоты электрогенератора ветроэнергетической установки с помощью магнитного редуктора / А. А. Афанасьев, И. И. Ислотов, В. А. Чихняев, А. М. Дмитренко // Вестник Чувашского университета. – 2017. – № 1. – С. 14-25.
11. Григораш, О. В. Стабилизаторы напряжения автономных ветроэнергетических установок малой мощности / О. В. Григораш, А. В. Квитко, П. М. Барышев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 64-72. – DOI 10.14529/power240408.
12. Махиянов, А. В. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками / А. В. Махиянов // ЭНЕРГОСТАРТ: Материалы VI Международной молодежной научно-практической конференции в рамках Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации, Кемерово, 17–22 ноября 2023 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2023. – С. 311-1.

© Махиянов А.В., 2025

А.В. МАХИЯНОВ

artur.makhiyanov.sems510@mail.ru

Науч. руковод. – док. техн. наук, проф. Р.Р. САТТАРОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет

К ВОПРОСУ СТАБИЛИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЁХФАЗНОГО ГЕНЕРАТОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация: в условиях роста доли ветроэнергетики в энергобалансе страны стабилизация параметров генераторов становится критически важной задачей, поскольку нестабильные ветровые потоки приводят к существенным флуктуациям выходного напряжения трёхфазных генераторов. Это негативно сказывается на качестве электроэнергии, надёжности питания потребителей и возможности эффективной работы автономных и сетевых ветроустановок. Для повышения эксплуатационных характеристик ветроэлектрических установок необходимы новые технические и схемотехнические решения, позволяющие поддерживать напряжение в заданных пределах при изменении скорости ветра.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, трёхфазный генератор, стабилизация напряжения, качество электроэнергии, переменная скорость, выпрямитель, система управления, инвертор, автоматизация.

Современные ветроэнергетические установки активно внедряются как источники экологически чистой и возобновляемой энергии. Их развитие способствует снижению выбросов углекислого газа и уменьшению зависимости от традиционных энергетических ресурсов. Однако одной из основных сложностей практической эксплуатации ветрогенераторов остаётся обеспечение стабильности выходных электрических параметров при переменных режимах работы, что напрямую связано с изменчивостью ветрового потока [1].

В трёхфазных генераторах переменное значение напряжения определяется скоростью вращения ротора, зависящей от интенсивности ветра [2]. Резкие порывы и спады скорости ветра приводят к колебаниям частоты и амплитуды выходного напряжения, создавая трудности при подключении чувствительных потребителей, вызывая перенапряжения и кратковременные провалы напряжения в сети [3]. Это требует разработки эффективных схем регулирования и стабилизации параметров генератора.

Для стабилизации напряжения применяются механические редукторы скорости, электронные регуляторы, выпрямители, сглаживающие фильтры, инверторы, а также буферные накопители энергии [4, 5]. Современные решения активно используют микропроцессорные системы управления, работающие в реальном времени и оснащённые датчиками тока, напряжения и скорости вращения ротора. Алгоритмы быстрой обработки отклонений электрических

параметров позволяют реализовать адаптивное регулирование, сокращая инерционность системы и повышая её устойчивость при изменениях внешних условий.

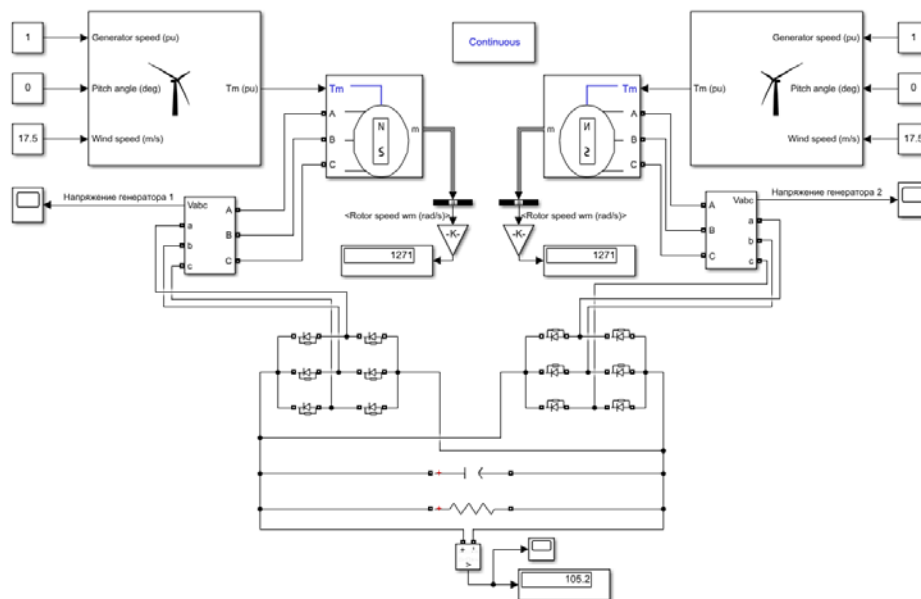


Рис. 1. Моделирование ветроэнергетической установки в Matlab (Simulink) [9]

Система автоматического управления напряжением ветроустановки включает в себя измерительные цепи, компараторы, управляющие микроконтроллеры и исполнительные реле. Эти элементы обеспечивают последовательную обработку сигналов, сравнение их с заданными параметрами и автоматическое переключение рабочих режимов генератора. В случае падения скорости ветра выпрямленный сигнал поступает через коммутирующее устройство и аккумуляторную батарею, после чего преобразуется инвертором в стабильное переменное напряжение, пригодное для подачи в сеть или на нагрузку [6-8].

Математические модели, реализованные в средах MATLAB и Simulink, используются для анализа переходных процессов, оптимизации алгоритмов управления и подбора оптимальных коэффициентов регулирования (рис. 1) [9, 10]. Такие инструменты позволяют прогнозировать поведение системы при различных скоростях ветра и обеспечивать устойчивое качество вырабатываемой электроэнергии даже при значительных флуктуациях воздушного потока [11].

Рассмотренные способы стабилизации напряжения трёхфазных генераторов ветроэнергетических установок позволяют не только значительно повысить качество электроэнергии и надёжность энергоснабжения потребителей, но и увеличить общий срок службы оборудования [12]. Дальнейшее совершенствование систем автоматического управления, внедрение интеллектуальных алгоритмов регулирования и использование гибридных накопителей энергии открывают широкие перспективы для развития ветроэнергетики в различных климатических регионах страны.

Библиографический список

1. Стабилизация выходных параметров асинхронного генератора с короткозамкнутым ротором в составе ветроэнергетической установки / Г. В. Никитенко, Е. В. Коноплев, П. В. Коноплев [и др.] // Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 4(16). – С. 72-74.
2. Чепига, А. А. Стабилизация выходной мощности и увеличение КПД ветрогенераторных установок средствами системы управления / А. А. Чепига, Ю. Али, Е. Е. Корытченкова // Развивая энергетическую повестку будущего : Сборник докладов Международной научно-практической конференции для представителей сообщества молодых инженеров ТЭК, Санкт-Петербург, 10–11 декабря 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина), 2021. – С. 124-126.
3. Стабилизация напряжения современного ветрогенератора: сайт. – URL: <https://novostienergetiki.ru/stabilizaciya-napryazheniya-sovremennogo-vetrogeneratora/> (дата обращения: 28.10.2025). – Текст: электронный.
4. Патент на полезную модель № 219734 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/00. Ветроэнергетическое двухгенераторное устройство для выработки электроэнергии в расширенном диапазоне ветровых скоростей: № 2023105593: заявл. 09.03.2023: опубл. 02.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, А. А. Евдокимов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
5. Патент № 2168062 C1 Российская Федерация, МПК F03D 9/00. Ветрогенератор: № 99125638/06: заявл. 07.12.1999: опубл. 27.05.2001 / Д. А. Ивашинцов, А. М. Рыжов, М. В. Кузнецов [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники им. Б.Е. Веденеева".
6. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором: № 2023102807: заявл. 07.02.2023: опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
7. Патент на полезную модель № 219901 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02K 21/12. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками: № 2023110888: заявл. 26.04.2023: опубл. 11.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
8. Патент на полезную модель № 212697 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02P 9/00. Ветроэнергетическая двухгенераторная установка: № 2022104815: заявл. 22.02.2022: опубл. 03.08.2022 / Р. Р. Саттаров, А. В.

Махиянов, И. Р. Саттаров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

9. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.

10. Саттаров, Р. Р. Упрощенная компьютерная модель ветроэнергетической системы на основе двух магнитоэлектрических генераторов с реконфигурируемыми обмотками / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 45-54. – DOI 10.17122/1999-5458-2024-20-1-45-54.

11. Саттаров, Р. Р. Компьютерное моделирование ветроустановки на основе двух синхронных генераторов с постоянными магнитами / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, С. О. Миниахметова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 28-37. – DOI 10.17122/1999-5458-2024-20-3-28-37.

12. Выбор оптимального генератора для ветроустановки / А. А. Бубенчиков, Р. А. Дайчман, Е. Ю. Артамонова [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 10-2(41). – С. 18-22. – DOI 10.18454/IRJ.2015.41.121.

© Махиянов А.В., 2025

Н.Р. НИЗАМОВА

miranea85gmail.com@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент З.Г. ГАБИДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ВЫБОРА ТРАССЫ ВЛЭП НА БАЗЕ ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ

Аннотация: в статье анализируется возможность использования при проектировании трасс воздушных линий электропередач тестовых полигонов, которые представляют собой модели участков местности; выбрано несколько участков с различной сложностью рельефа и набором типичных ограничений, что соответствует принципам математического моделирования сложных систем.

Ключевые слова: воздушная линия электропередач, тестовый полигон, распределение электрической энергии.

Важным этапом проведения вычислительных экспериментов при проектировании воздушных линий электропередач (ВЛ) является подготовка тестовых полигонов, которые представляют собой модели участков местности. Целью создания таких полигонов является апробация и верификация алгоритмов трассировки, основанных на поведении биологического прототипа *Physarum polycephalum* в условиях, максимально приближенных к реальным задачам проектирования воздушных линий электропередач [1]. Для достижения репрезентативных результатов необходимо выбирать участки с различной сложностью рельефа и набором типичных ограничений, что соответствует принципам математического моделирования сложных систем [2].

В рамках данного исследования предлагается сформировать набор из нескольких виртуальных тестовых полигонов. Первый полигон должен представлять собой условно простой участок с пологим рельефом, незначительными перепадами высот и минимальным количеством ограничивающих зон. Такой полигон позволит проверить базовую работоспособность алгоритма, его способность находить кратчайший путь в условиях, где решение является интуитивно очевидным. Это служит основой для валидации математического аппарата модели и соответствует подходу, описанному в работах по моделированию поведения *Physarum polycephalum* [3].

Полигон 1: Участок с простым рельефом

Данный тестовый полигон представляет собой равнинную местность с незначительными перепадами высот в диапазоне 100-120 метров над уровнем моря. Уклон поверхности не превышает 3°, что характерно для равнинных территорий Центральной России [4]. Размеры полигона составляют 10×10 км, что соответствует типовым участкам при проектировании ВЛ 110-220 кВ.

Геологический разрез представлен устойчивыми грунтами - суглинками и песчаными отложениями с расчетным сопротивлением 1,5-2,0 кг/см² [5].

На полигоне 1 моделируются следующие ограничения:

- водные преграды: малая река шириной 15 м с полосой отчуждения 50 м по каждому берегу;
- линейные объекты: автомобильная дорога III категории шириной 12 м;
- запретные зоны: отсутствуют.

Особенностью данного полигона является возможность апробации базового функционала алгоритма трассировки без учета сложных рельефных факторов. Основным критерий оптимизации – минимальная длина трассы при соблюдении нормативных расстояний до объектов [6]. Схематически полигон 1 представлен на рисунке 1.

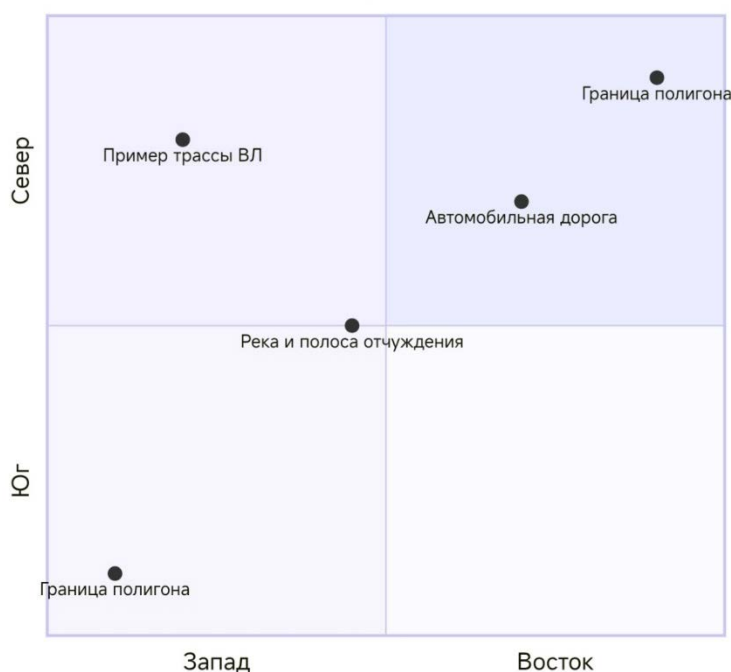


Рис. 1. Участок схемы полигона 1

Второй полигон должен характеризоваться средней сложностью. На таком участке моделируется холмистый рельеф с выраженными склонами и наличием ряда стандартных ограничений. К последним относятся зоны, непригодные для прокладки ВЛ: водные объекты (реки, озера), территории населенных пунктов, охраняемые природные зоны, а также участки с уже существующей инфраструктурой (действующие ЛЭП, автомобильные и железные дороги) [7]. Такой полигон позволит исследовать, как алгоритм справляется с необходимостью обхода препятствий и оптимизации пути не только по длине, но и с учетом минимизации числа пересечений и стоимости строительства, что является ключевым требованием при проектировании ВЛ [8].

Полигон 2: Участок со средней сложностью рельефа

Полигон размером 15×15 км характеризуется холмистым рельефом с абсолютными отметками 150-450 метров. Перепады высот достигают 300 м с

уклонами до 15°. Территория включает элементы рельефа: водораздельные плато, склоны южной и северной экспозиции, долины малых рек. Инженерно-геологические условия разнообразны: устойчивые скальные породы на водоразделах и оползне-опасные грунты на склонах [9].

Ограничивающие факторы полигона 2:

- природные территории: река шириной 40 м с охранной зоной 100 м, лесные массивы с деревьями высотой до 25 м;
- антропогенные объекты: населенный пункт с зоной ограничения застройки, автомобильная дорога I категории;
- инфраструктурные ограничения: действующая ВЛ 110 кВ с коридором шириной 60 м;
- особо охраняемые природные территории: заказник регионального значения.

На данном полигоне алгоритм должен продемонстрировать способность учитывать множество ограничений и находить компромисс между длиной трассы и стоимостью строительства, включая оценку объемов земляных работ [10]. Схематически полигон 2 представлен на рисунке 2.

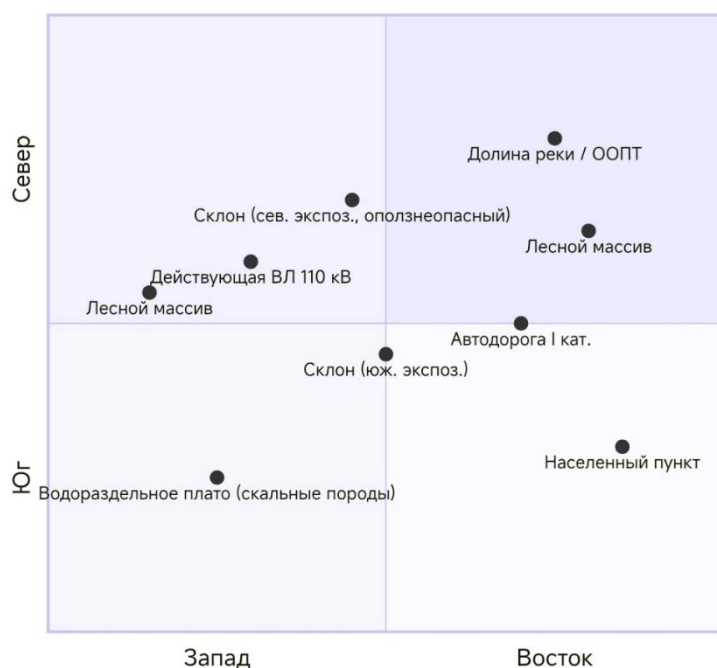


Рис. 2. Участок схемы полигона 2

Третий, наиболее сложный полигон, должен имитировать горную местность или сильно пересеченную местность с каньонами, крутыми склонами и значительными перепадами высот. Набор ограничений здесь должен быть максимально расширен и включать, помимо перечисленных, зоны с повышенной экологической уязвимостью, оползневой опасностью или сложными инженерно-геологическими условиями [11]. Эксперименты на таком полигоне направлены на проверку устойчивости и адаптивности алгоритма в экстремальных условиях, где традиционные методы трассировки могут столкнуться со значительными

трудностями. Анализ результатов на всех типах полигонов позволит сделать комплексные выводы об эффективности биоинспирированного подхода для задач трассировки ВЛ, основанного на принципах самоорганизации слизистого гриба [12].

Полигон 3: Участок со сложным горным рельефом

Моделирует условия горной местности с абсолютными отметками 800-2200 метров и перепадами высот до 1400 м. Размер полигона 20×25 км. Рельеф включает крутые склоны (до 35°), глубокие ущелья, селевые русла и скальные обнажения. Сейсмичность территории оценивается в 8 баллов [13].

Комплекс ограничений для полигона 3:

- природные риски: зоны селевой опасности, лавиносборы, оползневые склоны;
- экологические ограничения: национальный парк, места обитания редких видов;
- технические ограничения: максимальный угол подъема трассы 25°, минимальный радиус кривизны 500 м;
- климатические факторы: высотная зональность с различными гололедными условиями;
- инфраструктура: существующие ЛЭП 220 кВ, газопровод, горнодобывающие предприятия.

Особенностью моделирования на данном полигоне является необходимость учета динамического изменения весовых коэффициентов в процессе поиска пути, что соответствует адаптивному поведению биологического прототипа [14]. Алгоритм должен минимизировать совокупные затраты с учетом строительных, эксплуатационных и экологических рисков. Схематически полигон 3 представлен на рисунке 3.



Рис. 3. Участок схемы полигона 3

Для каждого полигона формируются цифровые модели рельефа с разрешением 10 м, векторные слои ограничений и матрицы весовых коэффициентов, отражающие стоимость прокладки трассы через каждый элементарный участок [15].

В дальнейшем автором планируется разработка алгоритма оптимизации процесса проектирования трасс с применением *Physarum polycephalum* и моделирования местности на языке *Python* с учетом ключевых факторов, влияющих на прокладку трассы ВЛ и с дальнейшим преобразованием их в весовые коэффициенты для математической модели.

Проведение вычислительных экспериментов на серии специально подготовленных тестовых полигонов, моделирующих местность различной сложности, позволит создать программный инструмент, который может быть использован на предпроектной стадии для генерации и быстрой оценки вариантов трасс ЛЭП. Это позволит инженерам-проектировщикам сократить временные затраты и рассмотреть больше сценариев, в том числе в сложных географических условиях, где традиционные методы менее эффективны.

Библиографический список

1. Jones, J. (2015). From Pattern Formation to Material Computation: Multi-agent Modelling of *Physarum polycephalum* [Электронный ресурс]. URL <https://books.google.com/books?hl=ru&lr> (дата обращения 20.09.25).
2. Самарский, А.А., Михайлов, А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры [Электронный ресурс]. URL <https://elibrary.ru/item.asp?id=15218223> (дата обращения 14.09.25).
3. Tero, A., Kobayashi, R., Nakagaki, T. (2017). A mathematical model for adaptive transport network in path finding by true slime mold. *Journal of Theoretical Biology*, 244(4), 553-564. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022> (дата обращения 21.09.25).
4. СТО 56947007-29.240.01.001-2009. Методические указания по трассировке воздушных линий электропередачи. ФСК ЕЭС. URL <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/b17/tix8zgolmbqdzx5buxf2p6eq42xxqhm3> (дата обращения 25.09.25).
5. Jones, J. (2019). "Applications of Multi-agent Slime Mould Models". *Natural Computing*, 18(3), 631-647. URL https://www.researchgate.net/publication/386617315_Applications_of_Multi-Agent_Slime_Mould_Computing (дата обращения 15.10.25).
6. ГОСТ Р 58033-2017. "Воздушные линии электропередачи напряжением до 35 кВ. Нормы и требования проектирования". URL <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739704.htm> (дата обращения 08.10.25).
7. СТО 56947007-29.240.01.001-2009. Методические указания по трассировке воздушных линий электропередачи. ФСК ЕЭС. URL <https://www.rosseti.ru/upload/iblock/b17/tix8zgolmbqdzx5buxf2p6eq42xxqhm3> (дата обращения 25.09.25).

8. Веников, В.А., Рожкова, Л.А. (2018). *Проектирование электрических сетей*. МЭИ. URL https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/48983/1/978-5-7996-2040-0_2017.pdf (05.10.25)
9. СП 477.1325800.2020. "Воздушные линии электропередачи. Правила проектирования". URL <https://meganorm.ru/Data2/1/4293722/4293722462.pdf> (дата обращения 19.10.25).
10. Zhang, X., & Wang, Y. (2021). "Bio-inspired path planning for power transmission lines". *Energy Reports*, 7, 1458-1468. URL https://www.researchgate.net/publication/369183441_Bio-Inspired_Optimization-Based_Path_Planning_Algorithms_in_Unmanned_Aerial_Vehicles_A_Survey (дата обращения 20.10.25).
11. ГОСТ Р 55906-2013. *Проектирование воздушных линий электропередачи напряжением 35 кВ и выше. Нормы и требования*. URL <https://docs.cntd.ru/document/1200108373> (дата обращения 08.10.25).
12. Adamatzky, A. (2020). *Physarum Machines: Computers from Slime Mould*. World Scientific. URL https://books.google.com/books?hl=ru&lr=&id=Kbs_AIDbfU8C&oi (дата обращения 09.10.25).
13. Chen, L., et al. (2022). "Intelligent route selection method for power lines based on improved physarum algorithm". *Electric Power Systems Research*, 212, 108458. URL https://www.researchgate.net/publication/396596102_An_Intelligent_Power_Transmission_Line_Routing_Method_Based_on_RRT_Algorithm (дата обращения 21.10.25).
14. Sun, Y., & Liu, H. (2023). "Adaptive network optimization inspired by physarum polycephalum for complex environments". *IEEE Transactions on Cybernetics*, 53(2), 1124-1135. URL https://www.researchgate.net/publication/321719515_Physarum-inspired_Network_Optimization_A_Review (дата обращения 25.10.25).
15. Wang, Z., et al. (2022). "Digital terrain modeling for power infrastructure planning". *Automation in Construction*, 138, 104234. URL https://www.researchgate.net/publication/261710726_Digital_Modeling_of_Construction_Site_Terrain_Using_Remotely_Sensed_Data_and_Geographic_Information_Systems_Analyses (дата обращения 24.10.25)

© Низамова Н.Р., 2025

Н.Р. НИЗАМОВА

miranea85gmail.com@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент З.Г. ГАБИДУЛЛИНА

Уфимский университет науки и технологий

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЕТЯХ

Аннотация: рассматриваются современные методы оптимизации распределения электрической энергии в сетях, включая алгоритмы на основе искусственного интеллекта и биологических систем, направленные на повышение эффективности, надежности и устойчивости энергетических систем.

Ключевые слова: устойчивость, эффективность, энергетические системы, оптимизация.

Оптимизация распределения электроэнергии по линиям электропередач и построение карт их распределения могут быть проиллюстрированы на примере крупнейшего одноклеточного организма «*Slime mold*» (*Physarum*). В статье рассматриваются аналогии между топологической оптимизацией (ТО) и тем, как *Physarum* находит пищу, образуя вокруг неё пути, которые напоминают линии электропередач. Эти пути, независимо от того, являются ли они воздушными или кабельными, демонстрируют процесс оптимизации, позволяющий организму эффективно использовать ресурсы [1, 2, 3].

Цель исследования заключается в изучении преимуществ биологических алгоритмов оптимизации на основе *Physarum* для повышения эффективности построения карт распределения электрической энергии в сетях с минимизацией потерь электроэнергии.

Объект исследования – энергетическая система, которая представляет собой совокупность всех элементов, участвующих в производстве, передаче и распределении электрической энергии.

Предметом исследования является оптимизация распределения электрической энергии в данной энергетической системе.

Оптимизация – это процесс нахождения экстремума определённой функции или выбора наилучшего оптимального варианта из множества возможных. Если число вариантов велико, применяется метод математического программирования. Применить этот метод можно, если есть поставленные задачи: дан набор параметров, установлена область применения и определен вид целевой функции от этих переменных.

Методология данного исследования основывается на принципах биоинспирированных алгоритмов оптимизации (БАО), которые объединяют различные аспекты из области биологии, информатики и математики. Эти

алгоритмы черпают вдохновение из природных процессов и механизмов, таких как эволюция, поведение животных и другие биологические явления. Они позволяют находить эффективные решения сложных задач, включая задачи передачи и распределения электрической энергии.

БАО часто пересекаются с областью искусственного интеллекта, поскольку их применение может включать методы машинного обучения. Основная идея заключается в использовании компьютерного моделирования для воспроизведения живых процессов и изучения их закономерностей с целью применения полученных знаний в вычислительных задачах [1].

Слизевики – это миксомицеты, которые представляют собой уникальные организмы, находящиеся на границе между растениями, грибами и животными. Они способны образовывать сложные сети, которые помогают им находить оптимальные пути к источникам пищи. Это поведение стало основой для разработки алгоритма оптимизации *Physarum*, который имитирует процессы, происходящие в слизевиках, для решения задач оптимизации, таких как задача коммивояжера [2].

Алгоритм *Physarum* использует принципы, наблюдаемые в поведении слизевиков, такие как распределение ресурсов и адаптивное изменение структуры сети в зависимости от условий окружающей среды. Это позволяет находить эффективные решения для сложных задач оптимизации, что делает его актуальным инструментом в области вычислительной математики и искусственного интеллекта.

Гипотеза исследования алгоритма оптимизации на основе *Physarum* заключается в том, что динамическое поведение слизевиков, которые адаптируют свою сеть дорог в ответ на локальные стимулы и изменения в ресурсах, может быть эффективно использовано для решения задач оптимизации построения карт в электрических сетях.

Слизевики, такие как *Physarum polycephalum*, представляют собой уникальные организмы, которые привлекают внимание исследователей благодаря своей способности адаптироваться к изменениям в окружающей среде и эффективно искать пути к ресурсам. Эти качества делают слизевиков интересным объектом для применения в области оптимизации, особенно в таких сферах, как проектирование дорог и распределение электрических сетей.

В контексте проектирования дорог основная задача заключается в оптимизации маршрутов для транспортных средств. Это включает в себя не только поиск наиболее коротких и быстрых путей, но и учет факторов, таких как заторы и состояние дорожного покрытия. Использование алгоритмов, основанных на поведении слизевиков, может значительно улучшить процесс проектирования.

В сфере распределения электрической сети задачи также требуют высокой эффективности и устойчивости. Здесь важно не только обеспечить надежное распределение электроэнергии от источников к потребителям, но и минимизировать последствия возможных сбоев. Алгоритмы, основанные на поведении слизевиков, могут помочь в разработке оптимальной топологии

электрической сети. Они учитывают различные параметры, такие как расстояние между узлами, мощность и нагрузка на линии. Это позволяет создавать более эффективные и устойчивые системы.

Наконец, устойчивость к сбоям – еще одна важная область применения. Системы на основе поведения слизевиков могут быть разработаны так, чтобы быстро реагировать на выход из строя одного из участков сети. Алгоритм может перенаправить потоки энергии через альтернативные маршруты, минимизируя последствия для потребителей [3].

Алгоритм оптимизации на основе слизевиков *Physarum* представляет собой вычислительную модель, которая имитирует поведение этих уникальных организмов для решения задач оптимизации. Слизевики, как известно, растут и распространяются к источникам пищи наиболее эффективным образом, следуя кратчайшим путям для соединения различных частей своего тела. Этот алгоритм работает, представляя проблему в виде сети и моделируя рост и движение агентов слизевиков по этой сети.

Первый этап реализации алгоритма заключается в инициализации сети и размещении «слизевика» в каждом узле. На втором этапе моделируется поведение агентов, которые перемещаются по сети согласно набору правил, имитирующих естественное поведение слизевиков. Например, агенты стремятся двигаться в области с высокой концентрацией питательных веществ (где ранее находились другие агенты) и избегают участков с низкой концентрацией.

Когда агенты перемещаются по сети, они оставляют след из слизи, который указывает на уровень концентрации слизевиков в каждом узле. Этот след служит индикатором для определения кратчайшего пути между двумя узлами в сети: путь с наибольшей концентрацией слизи представляет собой оптимальный маршрут [4].

Существует несколько областей применения алгоритма оптимизации на основе слизевиков при принятии решений. Одним из основных направлений является использование этого алгоритма для решения задач проектирования и оптимизации. Представляя задачу проектирования в виде сети, мы можем визуализировать различные компоненты системы как узлы, а связи между ними как ребра. Это позволяет нам анализировать взаимодействия и зависимости между элементами.

Обзор также подчеркивает потенциал использования *Physarum polycephalum* в будущих приложениях, таких как робототехника и групповой интеллект. Для исследователей и практиков, заинтересованных в применении алгоритмов на основе слизевиков для решения задач оптимизации и принятия решений, этот обзор представляет собой ценнейший ресурс [5].

В целом, данный код создает сеть и инициализирует агентов слизевиков для их распространения по этой сети, обновляя концентрацию слизи в каждом узле в зависимости от перемещения агентов. После этого вычисляется кратчайший путь между двумя случайно сгенерированными узлами на основе концентрации слизи в каждом из них. Этот алгоритм может быть полезен для моделирования движения агентов или частиц в сети, а также для поиска наиболее

эффективного маршрута между двумя точками на основе заданных критериев [6].

Нами разработано развитие сети, созданной с использованием алгоритма оптимизации на основе слизевиков *Physarum*. Визуализация демонстрирует структуру сети, состоящую из определенного количества узлов – например, 10 узлов, соединенных между собой различными путями. Каждое число, обозначенное рядом с узлом, указывает на уровень концентрации слизи в данном узле, что отражает его значимость для нахождения оптимального пути. Чем выше значение числа, тем больше вероятность того, что данный узел будет выбран агентами для перемещения, так как он сигнализирует о более высоком уровне «питания» или «ресурсов» (см. рис. 1).

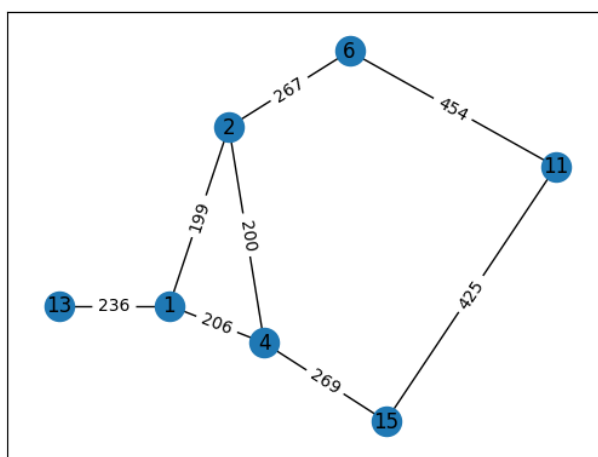


Рис. 1. Сеть оптимизации на основе слизевиков *Physarum*

Слизевики, несмотря на отсутствие централизованной нервной системы, демонстрируют удивительную способность решать сложные задачи принятия решений, адаптируя свои модели роста в ответ на внешние раздражители. Изучая механизмы их работы, мы можем разрабатывать новые алгоритмы и вычислительные модели, которые имитируют поведение этих организмов. Такие подходы могут быть применены к различным реальным задачам, включая городское планирование, логистику и транспорт [7].

В России исследования в этой области находятся на начальных стадиях, что открывает возможности для дальнейшего изучения и применения знаний о слизевиках в различных сферах

Исследование преимуществ естественных вычислений и биологических алгоритмов, таких как те, что демонстрируют слизевики, представляет собой мощный инструмент для решения сложных задач оптимизации. Эти уникальные организмы эффективно ищут пути к ресурсам, что делает их интересным объектом для применения в различных областях оптимизации.

Понимая механизмы работы *Physarum*, можно разрабатывать новые алгоритмы и вычислительные модели, имитирующие поведение этих организмов. Это может быть особенно полезно в таких сферах, как

проектирование дорог и распределение электрических сетей, где необходимо учитывать множество факторов и находить оптимальные решения.

Автором был разработан адаптированный алгоритм, имитирующий поведение слизевика, для поиска оптимального пути, минимизирующего интегральную стоимость трассы линий электропередач с учетом инженерно-технических и экономических ограничений. Алгоритм был реализован в виде программной модели на языке *Python* с использованием библиотек *NumPy*, *SciPy*, *NetworkX* и *Matplotlib*.

Библиографический список

1. Проводной. Миколог объясняет, как слизевики могут решать лабиринты [видеоклип]. YouTube, 5 апреля 2018 г. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=7YWbY7kWesI> (дата обращения: 27.10.2023).
2. Линза времени: Slime Lapse [веб-страница]. Biographic, 7 июня 2016 г. URL: <https://www.biographic.com/lens-of-time-slime-lapse/> (дата обращения: 27.10.2023).
3. Чу, Д., Ма, В., Ян, З., Ли, Дж., Дэн, Ю., Чеонг, КН Всесторонний обзор приложений для оптимизации *Physarum polycephalum*. *Swarm and Evolutionary Computation*. 2021. Т. 64. С. 100937. DOI: 10.1016/j.swevo.2021.100937.
4. Лю, Л., Сонг, Ю., Чжан, Х., Ма, Х., Васиلاكос, А. В. Оптимизация физарума: основанный на биологии алгоритм решения задачи дерева Штейнера в сетях. *IEEE Transactions on Computers*. 2015. Т. 64, № 3. С. 818–832. DOI: 10.1109/TC.2013.229.
5. Хагберг, А., Шульт, Д., Сварт, П. Изучение структуры, динамики и функций сети с помощью *NetworkX* // Материалы 7-й конференции *Python в науке (SciPy 2008)* / ред. Г. Вароно и др. С. 11–15.
6. Революция в принятии решений с помощью *Python* и слизевиков: путешествие в мир естественных вычислений [веб-страница]. URL: <https://coffee-web.ru/> (дата обращения: 27.10.2023).
7. *Physarum optimization algorithm* [репозиторий]. URL: <https://github.com/AfolabiOlaoluwa/physarumoptimizationalgorithm/commit/c926547192b4c9a420349d0561ca6146e0b9ab5a> (дата обращения: 27.10.2023).

© Низамова Н.Р., 2025

Э.Р. НУГУМАНОВ, И.М. САЙФУЛЛИН

kolun2203@yandex.ru, ooongps999@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент А.В. СТЫСКИН

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА В СИСТЕМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Аннотация: в статье показана актуальность применения импульсного вращающегося трансформатора в системе возбуждения бесконтактного асинхронизированного синхронного генератора, произведено сравнение их габаритных размеров, с размерами синхронных возбудителей равной мощности.

Ключевые слова: асинхронизированный синхронный генератор; система возбуждения, импульсный трансформатор, вращающийся трансформатор, роторный трансформатор.

При разработке конструкции системы возбуждения бесконтактного асинхронизированного синхронного генератора (АСГ) одним из главных вопросов является выбор конструкции возбудителя. Наиболее распространенным способом является применение синхронного возбудителя, то есть синхронного генератора с обмоткой якоря на роторе [1]. Однако для передачи электроэнергии на вращающийся вал предлагается также использование импульсного вращающегося трансформатора [2], что позволяет уменьшить габариты, и увеличить эффективность системы. Целью данной работы является сравнительная оценка габаритных размеров системы возбуждения бесконтактного АСГ с использованием импульсного вращающегося трансформатора, и классической системы на основе синхронного возбудителя. Для этого будет произведена оценка габаритов активной части синхронного возбудителя методом подобия. Будет произведен оценочный расчет габаритов активной части вращающихся импульсных трансформаторов, и произведена сравнительная оценка полученных результатов.

Главным фактором, определяющим габариты системы возбуждения, являются размеры активной части возбудителя. Для определения размеров активной части синхронных возбудителей воспользуемся методом подобия, основываясь на том, что разные типы электрических машин при одинаковом классе нагревостойкости, способе охлаждения, частоте и индукции в воздушном зазоре имеют схожие основные размеры [3]. Оценку будем производить для генераторов малой и средней мощности (от 10 до 200 кВт). Мощность возбудителя должна составлять около трети мощности АСГ [4], поэтому

произведем оценку размеров синхронных генераторов мощностью от 3 до 63 кВт. Исходя из принципа подобия, габариты активных частей возбуждателей должны быть схожи с габаритами активных асинхронных двигателей равной мощности. В табл. 1 приведены основные размеры, а также объемы активных частей асинхронных двигателей серии 4А [5] со скоростью вращения 1500 об/мин, мощностью от 3 до 75 кВт.

Таблица 1

Размеры выбранных двигателей

Типоразмер электрической машины	Мощность, кВт	Внешний диаметр статора, мм	Длина магнитопровода, мм	Объем активной части, м ³
4A100S4Y3	3	168	100	0,0022
4A112M4Y3	5,5	191	125	0,0036
4A132M4Y3	11	225	130	0,0052
4A180S4Y3	22	313	149	0,0088
4A200M4Y3	37	349	164	0,0128
4A225M4Y3	55	392	184	0,0222
4A250M4Y3	75	437	204	0,0306

Для оценки размеров активной части импульсного вращающегося трансформатора необходимо произвести их аналитический расчет. Предварительно необходимо задаться соотношениями размеров сердечника трансформатора, эскиз которого приведен на рисунке 1.

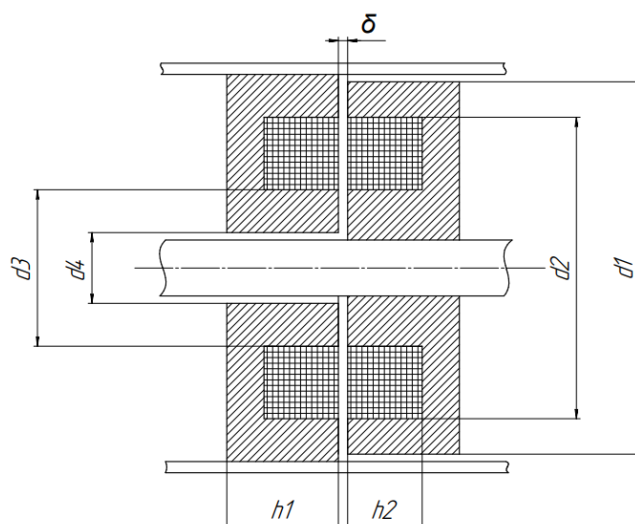


Рис. 4. Эскиз импульсного вращающегося трансформатора

Поскольку в данной работе не ставится задачи оптимизации размеров магнитопровода, зададимся соотношениями размеров серийно выпускаемых броневых чашеобразных ферритовых сердечников по ГОСТ 19197-73 [6].

Основываясь на методике расчета, изложенной в [6], и придерживаясь соотношений размеров, близких к серийно выпускаемым сердечникам, можно вывести следующие зависимости длины средней линии (1), активного сечения (2) и объема активной части (3) сердечника от его внешнего диаметра:

$$l_{\text{ср}} = 1,36d_1 \quad (1)$$

$$S_c = 0,115d_1^2 \quad (2)$$

$$V = 0,16\pi d_1^3 \quad (3)$$

На основе полученных соотношений рассчитаем необходимые размеры сердечников трансформатора для различных мощностей системы возбуждения. Расчет произведем по методике из [7]. Материал сердечника рассчитываемых трансформаторов – феррит М2000НМ. Величина воздушного зазора 1 мм. Схема полупроводникового преобразователя – мостовая, как наиболее пригодная для высоких мощностей [2]. Рабочая частота – 50 кГц.

Расчет производится итерационно. Начальный размер сердечника определяется исходя из габаритной мощности сердечника, в последствии корректируется для достижения удельной плотности тока не более 3 А/мм² при коэффициенте заполнения окна магнитопровода обмоткой $k_z = 0,5$, и величине тока намагничивания не более 10 % от номинального тока. Рассчитанные размеры трансформаторов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Рассчитанные размеры трансформаторов

Мощность трансформатора Р, кВт	Внешний диаметр сердечника d_1 , мм	Длина сердечника l , мм	Объем сердечника V , см ³
3	144	92,2	0,0015
5,5	156	99,8	0,0019
11	173	110,7	0,0026
22	192	122,9	0,0036
37	210	134,4	0,0047
55	226	144,6	0,0058
75	234	149,8	0,0064

Произведем сравнение размеров активных частей синхронных возбудителей и аналогичных по мощности вращающихся трансформаторов. На рисунке 2 приведены графики зависимости объема активной части синхронных возбудителей и импульсных вращающихся трансформаторов от мощности.

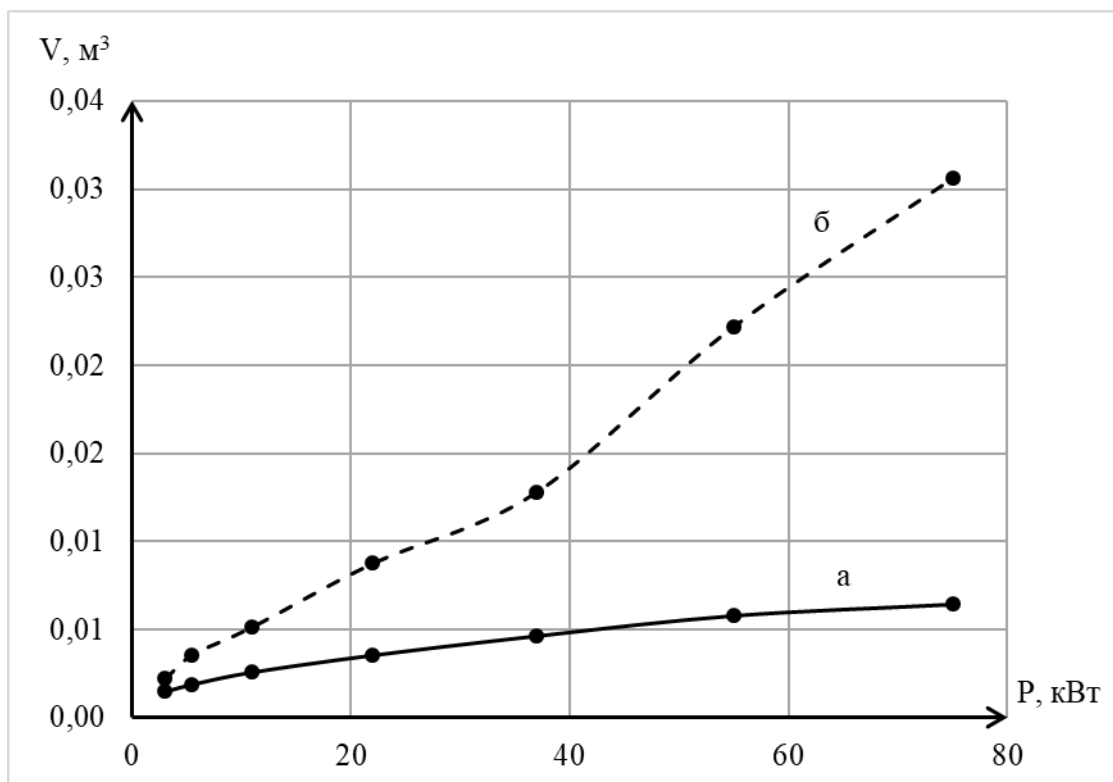


Рис. 5. Графики зависимости объемов активной части синхронных возбудителей и импульсных вращающихся трансформаторов от мощности:
а – объем активной части синхронного возбудителя;
б – объем активной части импульсного вращающегося трансформатора

Из полученных данных можно видеть, что объем, а следовательно, и масса активной части импульсного вращающегося трансформатора существенно меньше, чем у синхронного возбудителя аналогичной мощности. Разница в объемах существенно зависит от мощности. Так объем активной части синхронного возбудителя мощностью 3 кВт в 1,5 раза больше объема активной части импульсного вращающегося трансформатора равной мощности. При мощности 75 кВт отношение объемов составляет 4,75.

В ходе проделанной работы методом подобия были получены оценочные размеры активной части синхронных возбудителей для АСГ малой и средней мощности. Также были рассчитаны размеры магнитопровода для импульсного вращающегося трансформатора той же мощности. На основании полученных данных, было проведено сравнение, по итогам которого можно заявить, что использование импульсного вращающегося трансформатора позволяет существенно уменьшить габариты активной части возбудителя, а следовательно, добиться сопоставимого уменьшения габаритных размеров системы возбуждения бесконтактного АСГ. На основании этого можно сделать вывод о целесообразности разработки конструкции системы возбуждения бесконтактного АСГ с импульсным вращающимся трансформатором. Однако ряд вопросов, таких как оптимизация параметров трансформатора, и технология изготовления мощных импульсных вращающихся трансформаторов требуют углубленной технической проработки.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель № 66635 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/00. Асинхронизированный синхронный генератор: № 2007112437/22: заявл. 03.04.2007: опубл. 10.09.2007 / С. А. Ганджа; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственное предприятие "Ветроэнергетические установки". – 16 с.
2. Разработка блока бесконтактной передачи энергии для системы ориентации солнечной батареи космического аппарата / С. А. Афонская, С. А. Афонский, А. А. Дульцев, Д. С. Шепталин // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. – 2012. – Т. 129, № 4. – С. 15-20.
3. Власов, А. И. Предварительная оценка главных размеров электрических машин по постоянной Арнольда / А. И. Власов, Е. В. Волокитина, Ю. Г. Опалев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2007. – № 3. – С. 28-30.
4. Система генерирования электроэнергии на базе машины двойного питания / В. Н. Мещеряков, А. А. Муравьев, А. И. Бойков, В. В. Пикалов // Интеллектуальная электротехника. – 2018. – № 4. – С. 72-80.
5. Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. - М.: Энергоиздат, 1982. - 504 с.
6. ГОСТ 19197-73 Межгосударственный стандарт. Сердечники броневые из ферритов. Конструкция и размеры (утв. И введены в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 12.11.1973 г. № 2456.) – М. ИПК Издательство стандартов, 2000.
7. Штерн М.И. Силовая электроника. Расчеты и схемотехника. - СПб.: Наука и Техника, 2017. - 400 с.

© Нугуманов Э.Р., Сайфуллин И.М., 2025

Р.Р. НУРТДИНОВ

resha.nurtdinov@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Н.Л. БАБИКОВА

Уфимский университет науки и технологий

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЙСТВИЙ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПРИ ЛИКВИДАЦИИ АВАРИЙ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА ДЮРТЮЛИ: КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Аннотация: в статье представлен комплексный анализ работы оперативного персонала городских электрических сетей города Дюртюли, при возникновении аварийных ситуаций. На основе эмпирических данных исследованы временные показатели реагирования, выявлены ключевые факторы, влияющие на скорость локализации и устранения неисправностей, предложены меры по оптимизации процессов.

Ключевые слова: аварийное реагирование, оперативное обслуживание, электроснабжение, локализация повреждений, устранение аварий, эффективность персонала.

1. Введение.

Надёжность электроснабжения городских территорий – критически важный показатель качества жизни населения и функционирования инфраструктуры. В условиях растущей нагрузки на электросети особую значимость приобретает способность оперативного персонала быстро и эффективно реагировать на аварийные ситуации.

Цель данного исследования – проанализировать временные параметры действий оперативного персонала при авариях в электросетях г.Дюртюли и выявить резервы повышения эффективности реагирования.

2. Методология исследования.

В основу анализа легли оперативные журналы диспетчерской службы за 2023–2024 гг. [1], акты расследования аварий [2], хронометрические данные по 37 зарегистрированным аварийным ситуациям [3], результаты анкетирования 24 оперативных работников [4]. В процессе исследования применялись методы статистического анализа временных показателей [3], сравнительного анализа типовых сценариев и факторного анализа причин задержек [4].

3. Этапы реагирования и их временные характеристики.

Процесс ликвидации аварии структурирован на три последовательных этапа с фиксируемыми временными метриками:

1. Обнаружение и первичная диагностика.

Среднее время: $12,4 \pm 3,2$ мин.

Источники информации:

- автоматизированные системы мониторинга – 68 % случаев;
- сообщения потребителей – 24 %;
- визуальный контроль – 8 %.

2. Локализация повреждения.

Среднее время: $28,7 \pm 6,1$ мин.

Методы:

- секционирование сети – 72 %;
- приборный поиск (рефлектометры) – 19 %;
- анализ релейной защиты – 9 %.

3. Устранение неисправности.

Среднее время: $64,3 \pm 15,8$ мин.

Типичные работы:

- замена кабелей – 41 %;
- ремонт трансформаторов – 27 %;
- восстановление контактов – 22 %;
- ликвидация КЗ – 10 %.

Общее среднее время ликвидации аварии: $105,4 \pm 21,3$ мин.

4. Факторный анализ задержек.

Выявлены ключевые факторы, увеличивающие время реагирования:

– Квалификация персонала. Недостаточная подготовка увеличивает время локализации на 35–40%. Регулярные учения сокращают общее время на 18–22% [4];

– Техническое оснащение. Использование цифровых приборов снижает время поиска на 40–50% по сравнению с аналоговыми аналогами [3];

– Организационные аспекты. Несогласованность действий между подразделениями добавляет 15–25 мин. к общему времени [2];

– Внешние условия. Неблагоприятная погода увеличивает продолжительность работ на 30–70% [4].

5. Сравнительный анализ типовых аварий.

Для выявления резервов оптимизации проведён сравнительный анализ трёх распространённых сценариев аварий в электросетях.

Сценарий 1. Обрыв воздушной линии из-за падения дерева.

Длительность устранения: 142 минуты.

Основные временные потери обусловлены:

– Вынужденным ожиданием прибытия специализированной техники (28 минут) [3];

– Трудоёмкостью расчистки завала (45 минут) [3].

Сценарий 2. Короткое замыкание в трансформаторной подстанции.

Длительность устранения: 58 минут.

Существенное сокращение сроков обеспечено за счёт:

– Мгновенной автоматической фиксации аварии (2 минуты);

– Оперативного доступа к запасным частям и материалам, что позволило выполнить замену за 15 минут [3].

Сценарий 3. Повреждение кабельной линии.

Длительность устранения: 187 минут.

Главные затруднения возникли на этапах:

- Точной локализации места повреждения (62 минуты) [3];
- Проведения земляных работ для доступа к кабелю (55 минут) [3].

6. Предложения по оптимизации.

Проведённый анализ позволил сформулировать комплекс мер, направленных на сокращение времени локализации и устранения аварий в электросетях. Предложения сгруппированы по ключевым направлениям оптимизации.

1. Совершенствование технической базы:

- Внедрение интеллектуальных систем мониторинга с функцией автоматической локализации;
- Обновление измерительных приборов (цифровые рефлектометры).

2. Развитие кадрового потенциала:

- Организация регулярных (ежеквартальных) учебно-тренировочных мероприятий, в рамках которых отрабатываются действия персонала при различных типах аварий с использованием имитационных моделей [4];
- Разработка системы материального и нематериального стимулирования сотрудников за достижение целевых показателей по сокращению времени реагирования и ликвидации неисправностей [4].

3. Оптимизация организационных процессов.

- Создание единой цифровой платформы для взаимодействия оперативных бригад, диспетчеров и смежных служб [1][2];
- Пересмотр и корректировка маршрутов выезда ремонтных бригад с учётом актуальной дорожной ситуации, сезонных факторов и плотности застройки [2].

4. Улучшение логистической поддержки.

- Размещение резервных комплектов запасных изделий и принадлежностей в заранее определенных стратегических точках города для обеспечения их оперативной доступности при авариях;
- Заключение договоров с подрядными организациями на предоставление специализированной техники в экстренных случаях.

7. Заключение

Результаты проведённого исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Средняя продолжительность устранения аварийных ситуаций в электросети города Дюртюли составляет 105,4 минуты. Данный показатель находится в рамках среднестатистических значений, характерных для малых городов Российской Федерации [3].

2. Анализ распределения временных затрат по этапам работ выявил основные «узкие места»:

- На процедуру локализации неисправности приходится 27 % общего времени [3];

– Этап непосредственного устранения повреждения занимает наибольшую долю – 61% суммарной продолжительности работ [3].

3. Основными направлениями для оптимизации процессов признаны:

– Техническое переоснащение (модернизация диагностического и ремонтного оборудования);

– Повышение профессиональной компетентности оперативного персонала [4].

Прогнозируется, что системная реализация разработанных рекомендаций обеспечит сокращение общего время реагирования на 25–35%. Подобное улучшение временных показателей приведёт к заметному повышению надёжности электроснабжения городского округа, минимизации неудобств для потребителей и снижению экономических потерь от перебоев в электроснабжении [4].

Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ. – Москва: Энергоатомиздат, 2022. – 456 с.

2. ГОСТ Р 56302-2014 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Диспетчерские наименования объектов электроэнергетики и оборудования объектов электроэнергетики. Общие требования». – Москва: Стандартинформ, 2015. – 16 с.

3. Отчёты АО «Дюряулинские электрические и тепловые сети» по надёжности электроснабжения за 2023–2024 гг.

4. Исследования ЦНИИЭ по оптимизации аварийных работ в распределительных сетях. – Москва: ЦНИИ энергетики, 2023. – 84 с.

© Нуртдинов Р.Р., 2025

УДК 621.548

К.А. ОВСЯНИКОВ

kostiaovsan0301@gmail.com

Д.З. ГАЛЕЕВ

galeevdanil0309@gmail.com

Науч. руковод. – док. техн. наук, проф. Р.Р. САТТАРОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ

Аннотация: в статье рассматриваются особенности и отличия промышленных и бытовых ветрогенераторов на основе их конструктивных, технических и эксплуатационных характеристик. Актуальность исследования обусловлена ростом интереса к альтернативным источникам энергии и необходимостью выбора оптимальных решений для различных задач энергоснабжения. Описаны основные параметры конструкций, сравнены экономическая эффективность, эксплуатационные преимущества и недостатки каждого типа установок. В работе выделены критерии, по которым осуществляется выбор между промышленными и бытовыми ветрогенераторами. Сделан вывод о том, что оба типа имеют свою область применения, преимущества и ограничения в контексте современных энергетических потребностей.

Ключевые слова: ветроэнергетика, промышленные ветрогенераторы, бытовые ветрогенераторы, сравнение, эффективность.

Ветрогенераторы – это электромеханические устройства, предназначенные для преобразования кинетической энергии ветра в электрическую. В зависимости от мощности, целей применения и конструктивных особенностей различают промышленные и бытовые ветрогенераторы [1, 2].

Промышленные ветрогенераторы – это крупные установки мощностью от 1 МВт и выше, предназначенные для использования на ветроэлектростанциях или крупных объектах. Они имеют высоту башни 50-200 метров и диаметр ротора более 50 метров, что позволяет им эффективно использовать воздушные потоки на большой высоте. Современные промышленные модели могут достигать мощности 15-25 МВт, используются как на суше (onshore), так и в морских условиях (offshore). Классическая конструкция - трёхлопастные горизонтально-осевые установки [3]. Их КПД обычно составляет 40-50% всей системы, а срок службы - до 20-25 лет. Для установки, эксплуатации и обслуживания таких генераторов требуется специализированная техника и персонал.

Бытовые ветрогенераторы отличаются меньшими размерами (высота 5-20 метров, диаметр ротора 1-8 метров). Мощность таких устройств варьируется от 0,5 до 10 кВт, что покрывает нужды освещения, зарядки аккумуляторов, энергоснабжения частных домов и дач. Конструкция зачастую проще: встречаются как горизонтальные, так и вертикальные осевые модели [4]. Благодаря компактности и меньшей стоимости они доступны для индивидуального использования. Бытовые ветрогенераторы могут работать при меньших скоростях ветра (2-4 м/с) и не требуют значительного пространства для монтажа. Их техническое обслуживание проще, а запасные части более доступны.

На рис. 1 видно, что ветроустановки с ротором Савониуса обеспечивают более эффективное использование воздушного потока в сравнении с некоторыми карусельными моделями, повышая коэффициент использования энергии ветра примерно на 1,5 раза. Эти конструкции обладают преимуществами, такими как низкий уровень шума, широкий диапазон рабочих скоростей ветра и компактная площадь установки. Основным недостатком роторов Савониуса является относительно низкая скорость вращения, обычно не превышающая 400-600 оборотов в минуту, что ограничивает максимальную мощность генерации [3].

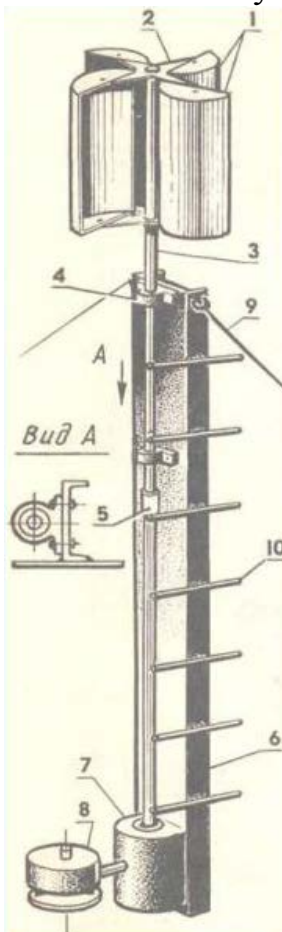


Рис. 1. Схема роторной ветроустановки (ротор Савониуса) [3]:
 1 – лопасти; 2 – крестовина; 3 – вал; 4 – подшипники с корпусами;
 5 – соединительная муфта; 6 – силовая стойка; 7 – коробка передач;
 8 – генератор; 9 – растяжки (4 шт.); 10 – ступени лестницы

С точки зрения технических характеристик, промышленные генераторы обеспечивают высокую стабильность и мощность, что важно для промышленного и сетевого энергоснабжения. Бытовые системы менее производительны, но выигрывают в доступности и простоте интеграции в автономные энергосистемы [1]. В промышленности преимущественно применяются горизонтально-осевые установки, а для бытовых целей также популярны вертикальные из-за независимости от направления ветра и сниженного шума.

Экономическая эффективность промышленных генераторов выше за счёт масштаба производства и эксплуатации (экономия на масштабе), однако начальные инвестиции и сложность реализации значительно больше [5]. Бытовые ветрогенераторы требуют меньших вложений и окупаемы при отсутствии централизованного электроснабжения или высоких тарифах на электроэнергию [2].

В заключение, выбор между промышленным и бытовым ветрогенератором определяется прежде всего задачами и требованиями потребителя: для поддержки крупных энергосистем - промышленные установки, для автономного или резервного энергоснабжения – бытовые [6]. Каждый вариант имеет свои сильные и слабые стороны, которые необходимо учитывать при планировании внедрения ветроэнергетических решений [7]. Перспективным направлением исследований являются также разработки в области повышения эффективности ветроустановок, такие как системы со стабилизацией напряжения и генераторы с коммутируемыми обмотками, в том числе многогенераторные конфигурации и установки для работы в расширенном диапазоне ветровых скоростей [8-11].

Библиографический список

1. Голосовский, С. А. Ветроэлектростанция, как альтернативный источник энергии / С. А. Голосовский // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей 7-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 5-ти томах, Курск, 19–20 мая 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов. Том 5. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 152-155.

2. Обзор различных типов ветрогенераторов, использующихся в мире / А. С. Пустовойтов, Д. О. Павлов, М. А. Чернов [и др.] // Евразийское Научное Объединение. – 2020. – № 9-2(67). – С. 124-127. – DOI 10.5281/zenodo.4072072. – EDN UXEACG. Янсон, Р. А. Ветроустановки / Р. А. Янсон. – Москва: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2007. – 36 с. – ISBN 5-7038-2919-4.

3. Ветроэлектроустановки (ротор Савониуса): сайт – URL: <https://studfile.net/preview/4695148/page:5/> (дата обращения: 03.11.2025). – Текст электронный.

4. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с. – ISBN 978-5-283-03272-9.
5. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.
6. Стабилизация напряжения и частоты электрогенератора ветроэнергетической установки с помощью магнитного редуктора / А. А. Афанасьев, И. И. Ислотов, В. А. Чихняев, А. М. Дмитренко // Вестник Чувашского университета. – 2017. – № 1. – С. 14-25.
7. Григораш, О. В. Стабилизаторы напряжения автономных ветроэнергетических установок малой мощности / О. В. Григораш, А. В. Квитко, П. М. Барышев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 64-72. – DOI 10.14529/power240408.
8. Патент на полезную модель № 219901 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02K 21/12. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками: № 2023110888: заявл. 26.04.2023: опубл. 11.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
9. Патент на полезную модель № 227868 U1 Российская Федерация, МПК H02P 9/10, F03D 9/30. Аэростатно-ветроэнергетическое устройство: № 2024104806: заявл. 26.02.2024: опубл. 07.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".
10. Патент на полезную модель № 228169 U1 Российская Федерация, МПК F03D 9/25, F03D 7/06, F03D 3/06. Горизонтально-турбинный девятифазный ветрогенератор: № 2024107865: заявл. 26.03.2024: опубл. 16.08.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, Д. Н. Крылов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский университет науки и технологий".
11. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором: № 2023102807: заявл. 07.02.2023: опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

© Овсяников К.А., Галеев Д.З., 2025

УДК 621.548

К.А. ОВСЯНИКОВ

kostiaovsan0301@gmail.com

Д.З. ГАЛЕЕВ

galeevdanil0309@gmail.com

Науч. руковод. – док. техн. наук, проф. Р.Р. САТТАРОВ

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ГИБРИДНЫЕ ВЕТРОГЕНЕРАТОРЫ: СОЧЕТАНИЕ ПРЕИМУЩЕСТВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Аннотация: данная статья посвящена анализу гибридных ветрогенераторов как перспективного направления развития ветроэнергетики. Цель работы – выявить преимущества объединения вертикальных и горизонтальных конструкций для повышения эффективности преобразования ветровой энергии. В статье рассмотрены принцип работы гибридных установок, их основные достоинства, а также возможности применения в различных условиях. Проведен сравнительный анализ гибридных систем с традиционными ветрогенераторами. В результате исследования показано, что гибридные модели позволяют расширить диапазон рабочих ветровых скоростей, повысить стабильность генерации и снизить влияние неблагоприятных погодных факторов. Отмечается практическая значимость внедрения гибридных решений для локальной и автономной энергетики.

Ключевые слова: гибридные ветрогенераторы, вертикальные ветрогенераторы, горизонтальные ветрогенераторы, эффективность, энергетика.

Гибридные ветрогенераторы – это инновационные установки, объединяющие конструктивные особенности вертикальных и горизонтальных моделей для достижения максимальной эффективности и устойчивости при производстве электроэнергии [1, 2]. Традиционные горизонтальные осевые ветрогенераторы (НАО) эффективны при постоянных ветрах, что делает их идеальными для крупных ветропарков. Они требуют точной ориентации и сложных механизмов слежения, чувствительны к изменениям ветра и могут быть шумными.

Вертикальные осевые ветрогенераторы (ВАО), напротив, способны работать при любых направлениях ветра, эффективно запускаются с малых скоростей потоков, компактны и отличаются низким уровнем шума [3]. Среди минусов – относительно низкий энергетический КПД и меньшая мощность, чем у горизонтальных аналогов.

Гибридные установки сочетают основные достоинства обеих конструкций [4]. Они состоят из горизонтального ротора для сильного ветра и вертикального модуля для неустойчивых скоростей. Это расширяет диапазон рабочих

скоростей, повышает стабильность и снижает простои. Они менее чувствительны к турбулентности и подходят для сложных условий, где ветер часто меняет направление.

При автономном (полном) обеспечении ВИЭ для задач снабжения малых и крупных потребителей (в соответствии с настоящих Методических рекомендаций) рекомендуется использование гибридных схем, сочетающих ветровую и солнечную, и/или геотермальную и/или гидроэнергию, а также для объектов снабжения в распределённых регионах с дизельной электростанцией.

На рис. 1 представлен распространенный вариант схемы гибридной электростанции, использующей ВИЭ, где источники подключаются непосредственно к распределительной сети объекта без промежуточного преобразования электроэнергии. Система управления станцией при этом должна обеспечивать не только стратегию регулирования мощностей ДГ, ФЭУ и ВЭУ, но и синхронизацию запуска агрегатов и их дальнейшую синхронную работу [4].

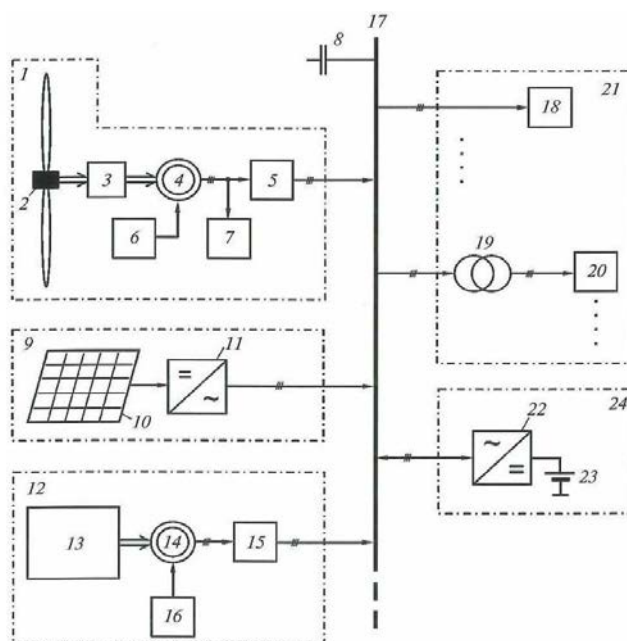


Рис. 1. Схема гибридной электростанции с непосредственным подключением генерирующих установок к распределительной сети объекта электроснабжения [4]:

1 – ветроэнергетическая установка; 2 – ветротурбина; 3 – редуктор-мультипликатор; 4, 14 – синхронные электромашинные генераторы;

5, 15 – устройства плавного пуска; 6, 16 – регуляторы тока возбуждения синхронных генераторов; 7 – блок балластных нагрузок; 8 – компенсатор реактивной мощности; 9 – фотоэлектрическая установка; 10 – солнечная панель; 11 – импульсный преобразователь постоянного напряжения в переменное (инвертор); 12 – дизель-генератор; 13 – дизельный двигатель; 17 – шина переменного тока 220/380 В, 50 Гц; 18 – потребители 220/380 В; 19 – силовой повышающий трансформатор; 20 – потребители 6 или 10 кВ; 21 – объект децентрализованного электроснабжения; 22 – двупреобразователь переменного напряжения в постоянное; 23 – блок аккумуляторных батарей; 24 – буферный накопитель электроэнергии

Основные преимущества гибридных моделей:

- увеличенный диапазон работы: эффективны как при слабых, так и при сильных ветрах [5];
- меньше требований к ориентации: вертикальный модуль не нуждается в повороте по ветру;
- повышенная надежность: снижено влияние порывов и турбулентности [6];
- снижение шума и вибраций, особенно в городских зонах;
- более стабильная и регулярная генерация электроэнергии [7, 8].

Несмотря на сложность конструкции и более высокую стоимость по сравнению с монотипными установками, гибридные ветрогенераторы находят всё более широкое применение - особенно в частном секторе, автономных энергосистемах и там, где требуется высокая надежность электроснабжения без доступа к централизованной сети [1, 2].

Таким образом, гибридные ветрогенераторы выступают современным техническим решением, позволяющим максимально эффективно использовать энергию ветра вне зависимости от погодных условий и особенностей местности. Их развитие способствует формированию устойчивой, экологичной и экономически целесообразной энергетики будущего [9, 10]. Перспективными направлениями являются также разработки в области многогенераторных систем и установок со стабилизацией напряжения, включая ветрогенераторы с коммутируемыми обмотками [11, 12].

Библиографический список

1. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении / Б. В. Лукутин, О. А. Суржикова, Е. Б. Шандарова. – Москва: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с. – ISBN 978-5-283-03272-9.
2. Голицын, М. В. Альтернативные энергоносители / М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. В. Пронина; М. В. Голицын, А. М. Голицын, Н. М. Пронина; Рос. акад. наук, Ин-т физики атмосферы им. А. М. Обухова, Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Москва: Наука, 2004. – ISBN 5-02-033065-5.
3. Николаев, В. Г. Национальный Кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения / В. Г. Николаев, С. В. Ганага, Ю. И. Кудряшов; Научно-информационный центр "Атмограф", Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н. Е. Жуковского и ОАО РАО «ЕЭС России». – Москва: Атмограф, 2008. – 581 с.
4. Обухов, С. Г. Сравнительный анализ схем автономных электростанций, использующих установки возобновляемой энергетики / С. Г. Обухов, И. А. Плотников // Промышленная энергетика. – 2012. – № 7. – С. 46-51.
5. Саттаров, Р. Р. Моделирование ветроустановки на базе двух пятифазных магнитоэлектрических генераторов со стабилизацией напряжения при изменяющейся скорости ветра / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов //

Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2025. – Т. 21, № 1. – С. 16-25. – DOI 10.17122/1999-5458-2025-21-1-16-25.

6. Саттаров, Р. Р. Компьютерное моделирование ветроустановки на основе двух синхронных генераторов с постоянными магнитами / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, С. О. Миниахметова // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2024. – Т. 20, № 3. – С. 28-37. – DOI 10.17122/1999-5458-2024-20-3-28-37.

7. Стабилизация напряжения и частоты электрогенератора ветроэнергетической установки с помощью магнитного редуктора / А. А. Афанасьев, И. И. Ислотов, В. А. Чихняев, А. М. Дмитренко // Вестник Чувашского университета. – 2017. – № 1. – С. 14-25.

8. Григоращ, О. В. Стабилизаторы напряжения автономных ветроэнергетических установок малой мощности / О. В. Григоращ, А. В. Квитко, П. М. Барышев // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 64-72. – DOI 10.14529/power240408.

9. Патент на полезную модель № 230315 U1 Российская Федерация, МПК F03D 9/30, F03D 3/00, F03D 7/06. Аэростатное ветроэнергетическое устройство с девятифазным генератором: № 2024109988: заявл. 11.04.2024: опубл. 26.11.2024 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

10. Патент на полезную модель № 217709 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/00. Ветроэнергетическая установка с девятифазным генератором: № 2023102807: заявл. 07.02.2023: опубл. 13.04.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. И. Балгазин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

11. Патент на полезную модель № 212697 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02P 9/00. Ветроэнергетическая двухгенераторная установка: № 2022104815: заявл. 22.02.2022: опубл. 03.08.2022 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов, И. Р. Саттаров; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

12. Патент на полезную модель № 219901 U1 Российская Федерация, МПК F03D 7/04, H02K 21/12. Ветрогенератор с коммутируемыми бифилярными фазными обмотками: № 2023110888: заявл. 26.04.2023: опубл. 11.08.2023 / Р. Р. Саттаров, А. В. Махиянов; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Уфимский государственный нефтяной технический университет".

© Овсяников К.А., Галеев Д.З., 2025

ВЛИЯНИЕ ВЗАИМНОГО ЗАТЕНЕНИЯ НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Аннотация: рассматриваются ключевые аспекты проектирования солнечных электростанций с параллельным расположением модулей, основное внимание уделяется влиянию взаимного затенения на энергоэффективность системы. Проанализированы сезонные и суточные изменения длины теней, обусловленные траекторией движения Солнца, и предложена методика расчета солнечной радиации на горизонтальную поверхность в условиях безоблачной атмосферы. Приведены алгоритмы определения плотности потока прямого, диффузного и суммарного излучения, а также их интегральных энергетических показателей за сутки и месяц. Графики визуализируют динамику поступления солнечной энергии в течение года, что важно для оптимизации компоновки солнечных электростанций.

Ключевые слова: электростанция солнечная, затенение, модуль, солнечная радиация, прямая и диффузная составляющие, энергетическая эффективность, горизонтальная поверхность, расчет излучения.

При проектировании солнечных электростанций (СЭ) с параллельным расположением модулей ключевым фактором становится учет взаимного затенения, существенно влияющего на энергетическую эффективность. В упрощенном подходе предполагается равномерное затенение всех модулей, однако реальное распределение теней имеет сложный характер – первый ряд и крайние модули остаются полностью освещенными, что увеличивает их производительность. Анализ затенения основывается на траектории движения солнца: в утренние и вечерние часы, когда солнце находится низко над горизонтом, длина теней максимальна, что требует увеличенных расстояний между рядами (рис. 1). Однако полностью исключить затенение невозможно, особенно в периоды восхода и заката, что необходимо учитывать при оптимизации компоновки СЭ. Практическое размещение модулей всегда представляет баланс между минимизацией потерь от затенения и эффективным использованием доступной площади, при этом точные расчеты должны учитывать пространственную динамику освещенности в течение дня.

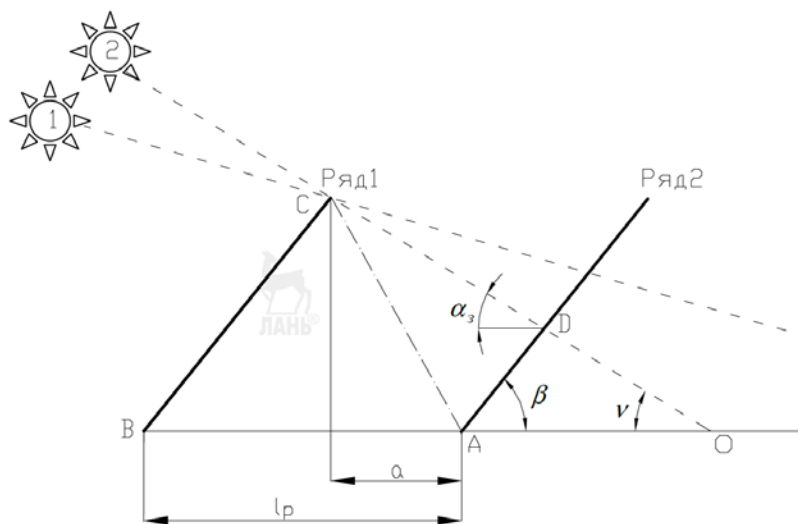


Рис. 1. Движение Солнца по небосводу

Тени существенно влияют на производительность системы, причем их характер меняется в зависимости от сезона – зимой тени длиннее из-за низкого положения солнца [1].

Возьмем комплексную методику расчета поступления солнечной энергии на горизонтальную поверхность в условиях безоблачной атмосферы. Такой подход позволяет последовательно определить основные характеристики солнечной радиации – от мгновенных значений плотности потока до интегральных энергетических показателей за сутки и месяц. Расчет поступления солнечного излучения начинается с определения плотности потока прямого солнечного излучения, поступающего на горизонтальную поверхность при отсутствии облачности (чистая атмосфера):

$$E_{\text{гор}i}^{\text{пр}} = E_{\text{гор}i}^0 \cdot \tau_{\Sigma i}^{\text{пр}} \cdot K_{\text{гор}}^{\text{пр}}.$$

По результатам расчетов следует построить график изменения $E_{\text{гор}i}^{\text{пр}}$ в период от восхода до захода Солнца для каждого расчетного дня месяца (рис. 2).

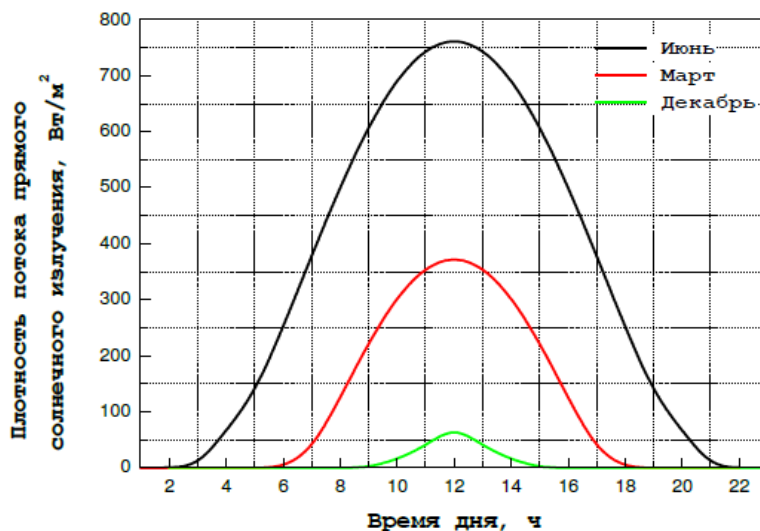


Рис. 2. Поступление прямого солнечного излучения на горизонтальную поверхность при чистом небе [3]

Для расчета солнечной энергии на горизонтальную поверхность используется следующий подход.

Сначала определяется суточная энергия прямого солнечного излучения. Она вычисляется путем интегрирования плотности потока излучения от времени восхода до захода солнца. Затем эта суточная энергия умножается на количество дней в месяце, что дает месячное значение энергии прямого излучения. Аналогичным образом рассчитывается энергия рассеянного (диффузного) излучения. Сначала находится суточная энергия диффузной составляющей через интегрирование, после чего определяется ее месячное значение. Для получения полной картины плотность потока суммарного излучения вычисляется как сумма прямой и диффузной составляющих в каждый момент времени. На основе этих данных строится график изменения полного излучения в течение суток.

Итоговым показателем является месячная энергия полного солнечного излучения, которая представляет собой сумму месячных энергий прямой и диффузной составляющих. Такой подход позволяет комплексно оценить поступление солнечной энергии на горизонтальную поверхность в условиях безоблачной атмосферы [2].

График изменения поступления энергии полного солнечного излучения в течение года представлен на рис. 3.

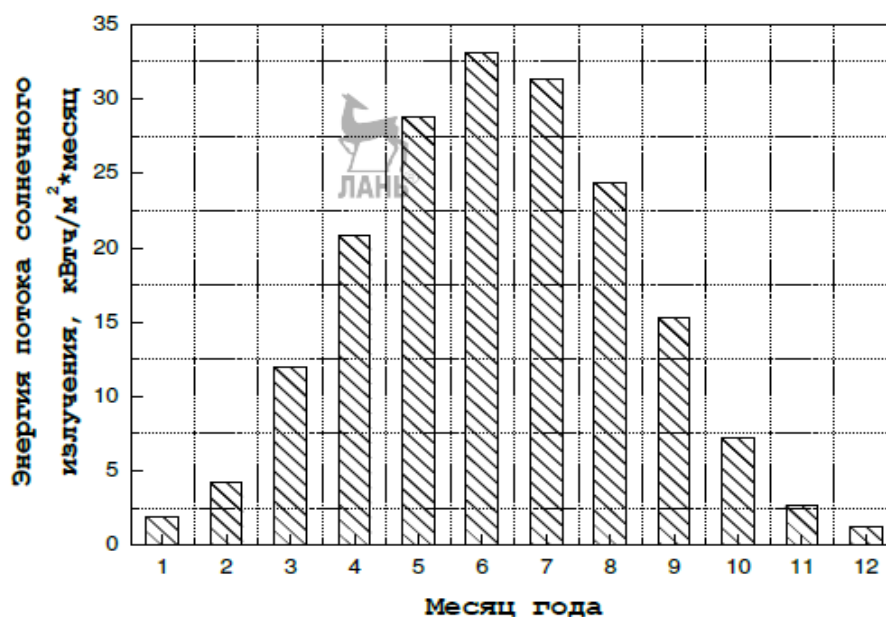


Рис. 3. Поступление энергии полного солнечного излучения на горизонтальную поверхность при чистом небе в течение года [4]

При проектировании для эффективной работы СЭ, важно правильно учесть два момента: как модули будут затенять друг друга и сколько солнечной энергии реально сможет уловить СЭ. Предложенная методика как раз помогает разобраться в этих вопросах. С её помощью можно понять, как свет распределяется по площадке в течение дня, и на основе этих данных грамотно разместить модули. Задача – найти золотую середину: с одной стороны, свести к минимуму потери из-за затенения, с другой – не занимать лишнюю площадь. В

итоге мы получаем чёткое представление о том, как будет вести себя станция в конкретных условиях. Эти данные становятся основой для решений, которые позволяют выжать максимум из солнечной установки – независимо от того, в каком климате она работает.

Автор вносит ценный вклад, предлагая четкую методику для решения ключевой проблемы солнечных электростанций – затенения модулей. Вместо упрощенных моделей детально разбирается реальная картина распределения теней, где первый ряд и крайние модули всегда получают больше света. Это напрямую увязывается с анализом движения солнца и сезонными изменениями. Практическая ценность заключается в поэтапном расчете поступления солнечной энергии – от мгновенных значений до месячных показателей. Такой подход позволяет перейти от общих рассуждений к точным расчетам и найти оптимальный баланс между минимизацией потерь и эффективным использованием площади.

Библиографический список

1. Елистратов В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения: учеб. пособие / В.В. Елистратов, В.А. Грилихес, Е.С. Аронова; под ред. В.В. Елистратова. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та.– 2008. – 100 с.
2. Безруких П. П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива: показатели по территориям - М.: «ИАЦ Энергия», 2007 – 272 с.
3. Климатические условия на территории России. <http://meteo.ru/climate/93-klimaticheskie-usloviya/179-klimaticheskie-usloviya-na-territorii-rossi>.
4. INTERSOLARCENTER, Иллюстрированный справочник по Возобновляемой энергетике, Energie – 129 с. – 2019.

© Рязанов Д.В., 2025

В.С. САГИТОВ

v.sagitov@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент М.Б. ГАРЕЕВА

Уфимский университет науки и технологий

ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ТЕЛЬФЕРА

Аннотация: в данной статье рассматривается электродвигатель тельфера, какими они бывают, его особенности, конструкция и системы управления, а также виды технического обслуживания и диагностики.

Ключевые слова: электродвигатель тельфера, ЭТ.

Электродвигатель тельфера (или электрической тали) (ЭТ) – это не просто стандартный электромотор; это высокоспециализированный агрегат, разработанный для выполнения конкретных задач по подъему и перемещению грузов, часто в сложных условиях. Его конструкция, характеристики и системы управления значительно отличаются от обычных двигателей общего назначения, чтобы обеспечить безопасность, надежность и эффективность работы подъемного механизма.

Устройство ЭТ показано на рисунке 1.

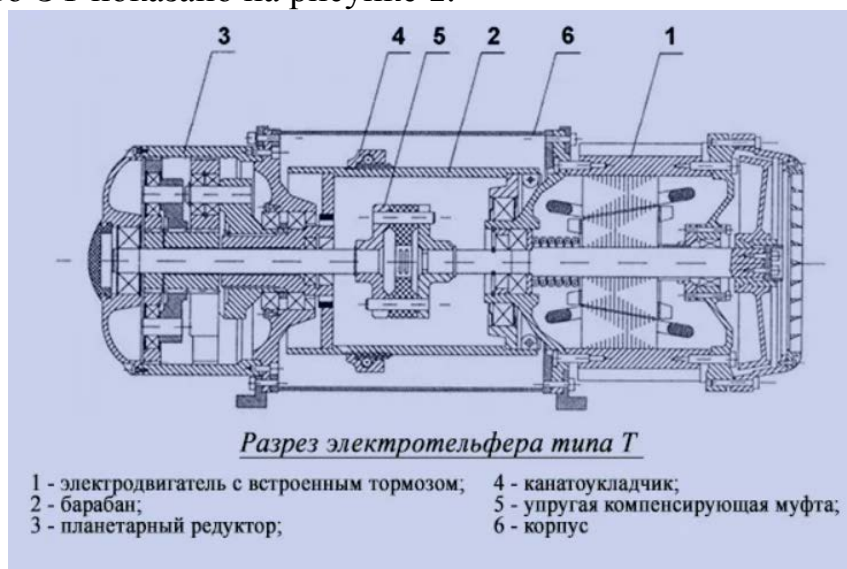


Рис. 1. Устройство ЭТ

1. Для привода механизма применяется асинхронный электродвигатель с конусным ротором и встроенным конусным тормозом, действующим под воздействием винтовой пружины на прижим. Освобождение тормоза происходит путем аксиального смещения ротора после подачи напряжения к электродвигателю, когда кроме вращающего момента в электродвигателе возникает и аксиальная электромагнитная сила.

2. Барабан приводится в движение центрично посредством эвольвентного шлицевого соединения с помощью полого вала, исходящего от планетарного редуктора, установленного на подшипниках.

3. Редуцирование высоких оборотов электродвигателя до оборотов, необходимых барабану, осуществляется с помощью планетарного редуктора. Расположение вне барабана позволяет производить его осмотр и очень удобно для проведения монтажа и демонтажа к корпусу ЭТ.

4. Он состоит из двух функциональных элементов – направляющей гайки и прижимной пружины, которые обеспечивают направление и правильную укладку каната в каналы барабана.

5. Передача вращающего момента от электродвигателя на вал редуктора происходит с помощью аксиально компенсирующей упругой муфты, которая обеспечивает аксиальное перемещение ротора при минимальном сопротивлении.

6. Корпус является объединяющим звеном и одновременно несущей частью подъемного механизма и представляет собой монолитную сварочную конструкцию, оформленную двумя стальными фланцами, связанными с помощью профилированных продольных ребер.

ЭТ имеет ряд специфических конструктивных решений.

Встроенный электромагнитный тормоз: это визитная карточка двигателя тельфера. Он обычно располагается на заднем валу двигателя. Принцип работы «нормально закрытый» (*fail-safe*): под действием пружин тормозные диски постоянно прижаты, и тормоз активен. При подаче напряжения на двигатель электромагнитная катушка притягивает якорь, разжимая диски и позволяя валу вращаться. При отключении питания пружины немедленно возвращают тормоз в активное состояние, мгновенно останавливая и удерживая груз.

Усиленная система охлаждения: из-за интенсивного режима работы с частыми пусками (высокое тепловыделение), двигатели оснащаются увеличенными вентиляторами и/или более развитым ребрением корпуса для эффективного рассеивания тепла.

Высокопрочные подшипниковые узлы: двигатели подвергаются значительным осевым и радиальным нагрузкам (от веса груза, редуктора, канатного барабана), поэтому подшипники и их опоры имеют усиленную конструкцию для обеспечения долговечности.

Термическая защита: в обмотки двигателя встраиваются терморезисторы (термисторы РТС) или термостаты. Они контролируют температуру обмоток и при достижении критического значения отключают двигатель, предотвращая его перегрев и повреждение.

Усиленный корпус и герметизация: корпус двигателя изготавливается из прочных материалов (чугун, алюминиевые сплавы), обеспечивая высокую механическую стойкость и защиту внутренних элементов. Высокая степень защиты (*IP54/IP55*) предотвращает попадание пыли и влаги.

Интеграция с редуктором: очень часто двигатель ЭТ поставляется в одном корпусе с планетарным или цилиндрическим редуктором. Такая конструкция

компактна, обеспечивает оптимальную передачу крутящего момента и упрощает монтаж.

Специальный профиль вала: вал двигателя может иметь удлиненную часть для крепления тормоза и специальный шлицевой или шпоночный конец для соединения с редуктором.

Работа в составе подъемного механизма предъявляет к ЭТ особые требования.

Высокий пусковой момент: ЭТ должен быть способен мгновенно развить достаточный крутящий момент для подъема неподвижного груза, преодолевая его инерцию. Это критично при каждом начале подъема.

Частые пуски и остановки (прерывисто-повторный режим): ЭТ работают в циклическом режиме (например, режимы S3, S4, S5 по [1]), что означает короткие периоды работы с последующими паузами. Каждый пуск сопровождается значительными бросками тока и нагревом обмоток. Двигатель должен быть рассчитан на многократные тепловые циклы.

Надежное торможение и удержание груза: это аспект безопасности номер один. Двигатель должен не только остановить груз, но и надежно удерживать его в поднятом положении даже при отключении питания.

Плавность хода и точность позиционирования: для деликатных операций или точной установки груза требуется возможность плавной регулировки скорости и перемещения без рывков.

Устойчивость к перегрузкам: вероятность превышения допустимого веса груза или заклинивания механизма требует наличия надежной защиты двигателя от перегрева и механических повреждений.

Повышенная степень защиты: работа в промышленных условиях (пыль, влага, вибрации, перепады температур) требует соответствия двигателя высоким стандартам IP-защиты (обычно IP54, IP55 и выше).

В ЭТ применяются асинхронные трехфазные двигатели с короткозамкнутым ротором: самый распространенный выбор. Они отличаются простотой конструкции, высокой надежностью, отсутствием необходимости в обслуживании щеточно-коллекторного узла. Современные решения с частотными преобразователями значительно расширяют их возможности по регулированию скорости и обеспечению высокого пускового момента.

Асинхронные трехфазные двигатели с фазным ротором (с контактными кольцами): исторически использовались для обеспечения высокого пускового момента и плавного регулирования скорости за счет включения дополнительных сопротивлений в цепь ротора. В современных ЭТ их вытесняют более компактные и эффективные системы с короткозамкнутыми двигателями и частотными преобразователями.

Двухскоростные асинхронные двигатели: используются для ЭТ, требующих двух фиксированных скоростей подъема (например, «быстро» для основной работы и «медленно» для точного позиционирования). Это достигается за счет специальных обмоток, позволяющих изменять количество полюсов, а значит, и синхронную скорость вращения.

Для маломощных бытовых или специализированных ЭТ могут применяться однофазные или двигатели постоянного тока, но это скорее исключение для узкоспециализированных или маломощных решений и для промышленных задач преобладают трехфазные.

Современные системы управления значительно повышают функциональность и безопасность ЭТ.

Прямое включение (*DOL – Direct-on-Line*): самый простой метод, при котором двигатель напрямую подключается к сети через контактор.

Управление с помощью частотного преобразователя (*VFD – Variable Frequency Drive*): *VFD* преобразует фиксированную частоту и напряжение питающей сети в переменные частоту и напряжение, подаваемые на двигатель. Это позволяет плавно регулировать скорость вращения двигателя в широком диапазоне.

Интегрированные системы безопасности. Концевые выключатели: автоматически отключают двигатель при достижении крюком крайних верхнего и нижнего положений, предотвращая повреждение механизма.

Ограничители грузоподъемности: специальные датчики или механические устройства, которые отключают подъемный двигатель при превышении допустимого веса груза.

Кнопка аварийной остановки: мгновенно обесточивает всю систему в экстренных ситуациях.

Реле контроля фаз: защита от неправильного чередования фаз или их пропадания, что может привести к перегреву и поломке двигателя.

Проверка тормозной системы: контроль износа тормозных накладок, регулировка зазора, проверка работоспособности электромагнита.

Контроль подшипников: диагностика шумов, вибраций, при необходимости – смазка или замена.

Проверка электрических соединений: отсутствие ослаблений, коррозии.

Чистка системы охлаждения: удаление пыли и грязи с вентилятора и ребрения корпуса.

Контроль изоляции обмоток: периодическая проверка сопротивления изоляции.

Мониторинг температуры: особенно при интенсивной эксплуатации, используя встроенные термодатчики или внешние приборы.

Библиографический список

1. Инструкция по монтажу и эксплуатации. Канатные электротельфери, типа МН и МНМ. https://b2b-resource.ru/files/Instrukcia_tali_MN_ru.pdf .

2. Инструкция по монтажу и эксплуатации электротельферов типа Т. <https://газконтроль.пф/sites/default/files/product-attach/instrukciya-elektrotelferov-tipa-t.pdf> .

© Сагитов В.С., 2025

УДК 621.313.33

Р.Р. САКАЕВ

zhuk.spec@mail.ru

Н.А. СЫЧЁВ

schvnkt3723@mail.ru

И.И. ВАГАПОВ

ilyasvagapov4@gmail.com

Уфимский университет науки и технологий

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ МОРСКИХ СУДОВ

Аннотация: данная статья представляет собой анализ использования электродвигателей в системах вентиляции морских судов. Исследуются преимущества электродвигательных приводов по сравнению с традиционными решениями, в частности, в контексте энергосбережения, простоты управления и снижения эксплуатационных издержек.

Ключевые слова: судовая вентиляция, электродвигатель, энергосбережение, преобразователь частоты, морская среда, взрывозащита, судовые системы.

Сегодня системы вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) на судах потребляют много энергии. Если они плохо работают, людям на борту будет некомфортно, груз может испортиться, а оборудование – выйти из строя [1, 4]. Двигатель – это основная часть любой системы вентиляции, и от того, насколько хорошо он работает, зависит качество всей системы. На протяжении веков на кораблях использовались механические системы старого образца, но они были неидеальны: потребляли много энергии, были сложны в настройке и создавали слишком много шума и вибрации. Сейчас корабли стараются экономить энергию и быть более автономными, поэтому им нужны более совершенные технологии. Одна из них – использование специальных электродвигателей для непосредственного питания вентиляторов и других устройств [2].

В этой статье мы рассматриваем преимущества и особенности использования современных электродвигателей в системах вентиляции на кораблях. Переход с механического привода на электрический дает вам несколько преимуществ:

1. Экономия энергии: если установить вентилятор прямо на электродвигатель, энергия не будет теряться в шестернях и ремнях. Это сокращает потребление электроэнергии, что очень важно на судне, где каждый киловатт стоит денег.

2. Простое и точное управление: с помощью контроллеров можно легко увеличивать или уменьшать скорость двигателя, что также позволяет управлять вентилятором. Это значит, что вы можете поддерживать нужную температуру на

корабле, не расходуя энергию на постоянную работу вентилятора на полной мощности.

3. Дешевле в обслуживании: электродвигатели, в основном асинхронные, очень долговечны. Они не требуют такого ухода, как механические системы, поэтому вы экономите на ремонте и простоях.

4. Меньше шума и вибрации: электродвигатели намного тише и не так сильно вибрируют, как дизельные или механические установки. Это облегчает работу экипажа.

Что нужно знать об электродвигателях для морских судов:

1. Механизмы на океанских судах подвергаются серьёзным нагрузкам, поэтому электродвигатели должны быть прочными [2].

2. Не подвержены коррозии: из-за солёного воздуха и воды требуются специальные покрытия и материалы для защиты от коррозии. Корпуса двигателей часто изготавливаются из нержавеющей стали или алюминия и покрываются прочной краской. Они также должны быть водонепроницаемыми и соответствовать стандарту IP55 или выше.

3. С минимальным биением, так как корабль подвержен сильной тряске из-за двигателей и волн, что может привести к повреждению внутренних частей двигателя, ослаблению болтов и поломке двигателя. Поэтому судовые двигатели нуждаются в прочных подшипниках и креплениях.

4. В некоторых местах на корабле (например, в аккумуляторных отсеках, цистернах и грузовых помещениях танкеров) в воздухе могут находиться взрывоопасные вещества. В таких местах нужны взрывозащищённые двигатели. Они сконструированы таким образом, чтобы не создавать искр, которые могут привести к взрыву.

5. Устойчивы к перепадам напряжения: на судне могут случаться скачки напряжения. Двигатели должны продолжать работать даже при изменении напряжения или частоты, и контроллеры должны обеспечивать защиту от этого.

Сравнение типов электродвигателей для судовой вентиляции. Наиболее распространёнными двигателями для судовых систем являются асинхронные и синхронные.

Асинхронные двигатели (АД) Асинхронные двигатели используются на всех судах, потому что они просты, надёжны и дешёвы [2, 3]. Они бывают однофазными и трёхфазными. Для больших вентиляционных систем лучше всего подходят трёхфазные АД.

Плюсы:

1. Простая конструкция означает надёжность и долгий срок службы.
2. Дешевизна в производстве и эксплуатации.
3. Можно подключить напрямую к электросети судна.

Минусы:

1. Не экономят столько энергии, сколько новые синхронные двигатели.
2. Трудно регулировать скорость без частотного преобразователя.
3. Не очень эффективно используют энергию, возможно, потребуется дополнительная передача, чтобы решить эту проблему. Специальные

однофазные асинхронные двигатели хорошо подходят для систем автоматизации судов, поскольку они рассчитаны на работу в сложных условиях [2].

Синхронные двигатели и двигатели с постоянными магнитами (PMSM) Синхронные двигатели, в основном с постоянными магнитами (PMSM), всё чаще используются в системах, требующих экономии энергии.

Плюсы:

1. Значительно экономит электроэнергию, что позволяет сократить расходы на электричество.
2. Эффективно использует энергию, не перегружая электрическую систему судна.
3. Лучше контролирует процессы и быстрее реагирует.

Минусы:

1. Стоит дороже.
2. Более сложны в изготовлении и управлении.
3. Могут потерять магнитные свойства при перегреве.

Выбор между асинхронным двигателем и бесщёточным двигателем постоянного тока часто зависит от того, хотите ли вы сэкономить сейчас или в будущем сэкономить на электроэнергии. Преобразователь частоты позволяет изменять напряжение, подаваемое на двигатель, что влияет на скорость его вращения. Добавление частотного преобразователя к двигателю вентилятора дает несколько преимуществ:

1. Экономия энергии: при небольшом замедлении работы вентилятора потребляемая мощность значительно снижается. Таким образом, замедление работы вентилятора на 20 % может сократить потребление энергии почти вдвое. Если вам не нужно, чтобы вентилятор работал на полной скорости, преобразователь может значительно сэкономить электроэнергию.

2. Плавный запуск: преобразователь плавно запускает двигатель, поэтому не возникает резких скачков мощности. Это упрощает работу энергосистемы судна и продлевает срок службы двигателя и вентилятора.

3. Поддерживает стабильность: система может регулировать скорость вращения вентилятора на основе сигнала от датчиков температуры, давления или влажности, поддерживая оптимальные условия.

Для планирования таких систем необходима тщательная подготовка, в том числе планирование экспериментов, как описано в [5, 6, 10].

Критерии выбора электродвигателей и их максимально эффективному использованию. Основываясь на том, что мы рассмотрели, дадим несколько советов проектировщикам и судовладельцам:

1. Для новых судов рассмотрите возможность использования синхронных двигателей с постоянными магнитами (PMSM) и частотных преобразователей для основной вентиляции. Это позволяет максимально эффективно использовать энергию в течение всего срока службы судна.

2. При модернизации старых систем хорошим решением может стать установка преобразователя частоты на существующие асинхронные двигатели. Это может значительно сэкономить электроэнергию без особых затрат.

3. При выборе двигателей убедитесь, что они соответствуют стандартам классификационных обществ (например, Российского морского регистра судоходства) в отношении таких параметров, как климат, вибрация и взрывозащита.

4. При проектировании разумно использовать компьютерные модели и планировать эксперименты [7, 8, 9], чтобы обеспечить правильную работу системы вентиляции и выбрать двигатель оптимального размера. Это позволит избежать нехватки мощности или перерасхода энергии.

Использование современных электродвигателей с частотными преобразователями – ключевой способ сделать системы вентиляции на судах более эффективными и надёжными. Несмотря на то, что на первых порах такие решения обходятся дороже, они быстро окупаются за счёт сокращения эксплуатационных расходов. Сравнение преимуществ и недостатков различных типов двигателей показывает, что для каждой ситуации, будь то сборка нового двигателя или модернизация старого, можно подобрать оптимальный вариант.\

Библиографический список

1. Каракаев А. Б. Специальные однофазные асинхронные двигатели для корабельных систем автоматики / А. Б. Каракаев. – СПб.: ТМА им. адм. С. О. Макарова, 1999. – 220 с.
2. Вольдек А. Н. Электрические машины / А. Н. Вольдек. – М.: Электроэнергия, 1978. – 832 с.
3. Каракаев А. Б. Устройства вентиляции и кондиционирования воздуха / А. Б. Каракаев, А. Г. Рябинин, Г. А. Рябинин. – СПб.: СПбГУВК, 1997. – 238 с.
4. Волисенский В. А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В. А. Волисенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263 с.
5. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1975. – 285 с.
6. Саутин С. Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л.: Химия, 1975. – 48 с.
7. Асатурян В. Н. Теория планирования эксперимента / В. Н. Асатурян. – М.: Радио и связь, 1983. – 148 с.
8. Веников В. А. Теория подобия и моделирования (применительно к задачам электроэнергетики): учеб. пособие для электроэнергетических сцен, вузов / В. А. Веников, Г. В. Веников. – М.: Электротехника, 2013. – 440 с.
9. Ивоботенко Б. Д. Планирование эксперимента в электромеханике / Б. Д. Ивоботенко, Н. Ф. Ильинский, Н. П. Коньков. – М.: Энергия, 1975. – 184 с.

© Сакаев Р.Р., Сычёв Н.А., Вагапов И.И., 2025

УДК 621.313

Д.Р. САРВАРОВ

den.sarvarov@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИОННОЙ КРОВАТИ: ТРЕБОВАНИЯ, ВЫБОР И ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация: приводится комплексный анализ и обоснование выбора типа электрического двигателя для использования в составе электропривода современных многофункциональных реабилитационных кроватей. Рассмотрены эксплуатационные, технические и медико-технические требования, предъявляемые к электромеханическим системам данного класса. Проведен детальный сравнительный анализ коллекторных двигателей постоянного тока, бесколлекторных двигателей (BLDC) и шаговых двигателей по ключевым критериям: надежность, уровень акустического шума, плавность хода, энергоэффективность и стоимость владения. На основе анализа доказана целесообразность применения BLDC-двигателей в качестве силового агрегата.

Ключевые слова: реабилитационная кровать, электропривод, линейный актуатор, шаговый двигатель, бесколлекторный двигатель, электробезопасность, медицинская техника, система управления

Одним из ключевых элементов палаты интенсивной терапии, неврологического или геронтологического отделения является функциональная реабилитационная кровать (РК). Её задача – не только обеспечить комфортное положение пациента, но и активно способствовать процессу восстановления, предотвращая развитие пролежней, пневмоний и контрактур, а также облегчая работу медицинского персонала [1]. Перевод механических регулировок таких РК на электрическую основу является актуальной научно-технической задачей.

Электропривод (ЭП) позволяет осуществлять точное и бесшумное позиционирование секций РК (подголовника, подспинья, секции «ломания» и ножной части) по команде с пульта управления, как самим пациентом, так и медперсоналом. Таким образом, разработка высоконадежного, безопасного и эффективного ЭП является важной научно-технической задачей.

Конструкция и тип двигателя, используемого в ЭП РК, определяются жестким набором эксплуатационных требований, продиктованных спецификой его применения. Безопасность является абсолютным и неделимым приоритетом. Она включает несколько аспектов. Первый, электрическая безопасность (вся система ЭП должны соответствовать классу защиты не ниже IPX6 для

устойчивости к интенсивной санитарной обработке; рабочее напряжение выбирают из диапазона безопасных низких напряжений 24÷36 В постоянного тока). Обязательна гальваническая развязка цепей управления от силовых цепей. Конструкции двигателя и редуктора должны исключать возможность самопроизвольного движения секций РК при отключении питания («самоторможение»). Все движущиеся части внутри актуатора должны быть надежно изолированы от оператора. Система должна быть оснащена многоуровневой защитой: электронная защита от перегрузки по току и моменту, защита от перегрева обмоток статора, а также дублирующая механическая защита с использованием концевых выключателей, ограничивающих ход штока в крайних положениях.

РК относится к оборудованию круглосуточного использования. Количество рабочих циклов (подъем/опускание) для одной секции может достигать 50–100 раз в сутки. Таким образом, за срок службы (7–10 лет) двигатель должен отработать безотказно не менее 150 000–200 000 циклов. Это предъявляет серьезные требования к износостойкости материалов подшипниковых узлов, шестерен редуктора и долговечности щеточно-коллекторного узла (если он присутствует).

Психоэмоциональное состояние пациента, особенно в отделениях реанимации и неврологии, крайне уязвимо. Громкий, резко стартующий двигатель с вибрациями может вызывать стресс, нарушать сон и препятствовать восстановлению. Допустимый уровень звукового давления на расстоянии 1 метра от кровати не должен превышать 30–35 дБ, что соответствует уровню шепота. Плавность хода, обеспечиваемая равномерным вращающим моментом и качественной системой управления, критически важна для пациентов с травмами позвоночника, чтобы избежать рывков и болевых ощущений.

Несмотря на относительно малую мощность (50–150 Вт на привод), совокупное энергопотребление РК, работающей в круглосуточном стационаре, значительно. Высокий КПД двигателя позволяет снизить нагрузку на блок питания и уменьшить тепловыделение. Наличие функции автоматического перехода в энергосберегающий режим при простое является обязательным требованием. Кроме того, система должна быть способна работать от резервных аккумуляторных батарей в течение нескольких часов при отключении центрального электропитания.

Для привода линейных актуаторов РК рассматриваются три основных типа электродвигателей.

Коллекторные двигатели постоянного тока (ДПТ)

Преимущества: проста конструкции и системы управления (для реверсирования требуется лишь смена полярности), высокий пусковой момент, относительно низкая стоимость.

Недостатки: наличие щеточно-коллекторного узла – главный источник проблем. Он обуславливает ограниченный ресурс (износ щеток), искрение (недопустимо в кислородной среде), электромагнитные помехи и повышенный уровень шума. Низкая надежность делает их малопригодными для современных

медицинских систем высокого класса.

Шаговые двигатели. Преимущества: обеспечивают точное позиционирование без необходимости в датчике обратной связи, обладают высоким моментом на низких скоростях. Недостатки: присущий им эффект «дребезга» (резонансных колебаний) на средних скоростях негативно сказывается на плавности хода и уровне шума. Существует риск потери шагов (и, как следствие, позиции) при резких изменениях нагрузки или недостаточной мощности драйвера. Энергопотребление относительно высоко даже в режиме удержания положения.

Бесколлекторные двигатели постоянного тока (BLDC). Преимущества: высокая надежность и долговечность; отсутствие щеточно-коллекторного узла радикально увеличивает ресурс (может превышать 10 тыс. часов наработки на отказ); высокий КПД (85–90%), что снижает энергопотребление и нагрев; плавность хода и низкий уровень шума: благодаря электронной коммутации и отсутствию скользящих контактов, хорошие массогабаритные показатели; высокая удельная мощность; управляемость (легко интегрируются в сложные системы управления с обратной связью, позволяя точно регулировать скорость и момент). Недостатки: более сложная и, как следствие, дорогая система управления (драйвер), требующая датчиков положения ротора (датчики Холла) и специализированного контроллера.

Сравнительная характеристика приведена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительная характеристика двигателей для ЭП РК

Критерий	ДПТ	Шаговый двигатель	Бесколлекторный двигатель постоянного тока
Надежность	Низкая	Средняя	Очень высокая
Уровень шума	Высокий	Средний/Высокий	Низкий
Плавность хода	Средняя	Низкая/Средняя	Высокая
КПД	Средний	Низкий/Средний	Высокий
Точность позиционирования	Низкая (без обратной связи)	Очень высокая	Высокая (с обратной связью)
Стоимость системы	Низкая	Средняя	Высокая
Сложность управления	Низкая	Средняя	Высокая

Разработана система управления ЭП (СУ), состав которой приведен ниже.

Блок управления (контроллер): принимает команды с пульта ДУ и формирует управляющие сигналы для драйверов двигателей. Драйверы BLDC-двигателей обеспечивают коммутацию обмоток и точное регулирование скорости и момента. Пульт дистанционного управления это эргономичное устройство с тактильными кнопками, дублирующее основные функции для пациента и медперсонала. Концевые выключатели требуются для ограничения хода штока в крайних положениях. Для повышения безопасности необходима

система резервирования критических узлов, например, установка двух независимых контроллеров или дублирование цепей питания.

Перспективным направлением развития является интеграция ЭП в интеллектуальную систему мониторинга. Данная система может включать:

Давление-чувствительные сенсоры в матрасе для автоматического распознавания риска образования пролежней и инициирования процедуры смены давления, встроенные весы для контроля веса пациента, сенсоры положения тела для предотвращения падения с РК, интеграцию с медицинской информационной системой лечебного учреждения для автоматического ведения истории изменений положения пациента.

Проведенное исследование однозначно свидетельствует о том, что *BLDC* является наиболее предпочтительным типом электрической машины для применения в составе ЭП РК. Высокие показатели надежности, долговечности, акустического комфорта и энергоэффективности в полной мере соответствуют строгим медико-техническим требованиям.

Разработанная СУ на основе микропроцессорного контроллера позволяет реализовать не только базовые функции перемещения, но и комплексные алгоритмы защиты и интеллектуального взаимодействия с пациентом и медицинским персоналом. Рассмотренные перспективы интеграции таких приводов в экосистему «Умной больницы» открывают новые возможности для персонализированной реабилитации и повышения качества медицинского ухода в целом.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 60601-2-52-2014 (МЭК 60601-2-52:2009). Изделия медицинские электрические. Часть 2-52. Частные требования к безопасности основных функциональных кроватей.
2. Иванов С.В., Петров А.И. Электромеханические системы в медицинской технике. – М.: Техносфера, 2022. – 300 с.
3. Smith, J., Brown, K. Advanced Actuator Systems for Patient Care Equipment // Journal of Medical Engineering & Technology. – 2021. – Vol. 45, Iss. 3. – P. 145-156.
4. Kenjo T., Sugawara A. Stepping Motors and their Microprocessor Controls. – Oxford University Press, 1994.
5. Krishnan R. Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives. – CRC Press, 2010.
6. Техническая документация на линейные актуаторы серии LA40 фирмы «Linak» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.linak.com/products/linear-actuators/> (дата обращения: 20.10.2023).
7. Применение BLDC-двигателей в медицинской технике // Электронные компоненты. – 2020. – № 5. – С. 78-82.

© Сарваров Д.Р., 2025

А.Р. СУЛТАНОВ, Д.И. КИЕКБАЕВ

artyom9656605368@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент Т.Р. ТЕРЕГУЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

СРАВНЕНИЕ ТЯГОВЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Аннотация: в данной статье рассматриваются синхронные тяговые двигатели с различными вариантами возбуждения и определяется их оптимальный выбор.

Ключевые слова: синхронный, тяговый, двигатель, электромагнитный, магнитоэлектрический.

Современный электрический транспорт, будь то электромобили, электролокомотивы или городской электротранспорт, немислим без высокоэффективных тяговых электродвигателей. Среди множества конструкций особое место занимают синхронные двигатели, которые можно разделить на две принципиально разные категории по способу создания магнитного поля: с электромагнитным возбуждением (током) и с возбуждением от постоянных магнитов. Эти два типа машин имеют существенные различия в конструкции, характеристиках и областях применения, что делает их сравнительный анализ особенно актуальным.

Синхронный двигатель любого типа характеризуется тем, что частота вращения его ротора жестко связана с частотой питающего напряжения [2]. Это свойство обеспечивает стабильность скорости независимо от нагрузки на валу, что особенно ценно в тяговых двигателях, где требуется точное поддержание режимов движения.

Работа синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением основана на взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и магнитного поля ротора, создаваемого обмоткой возбуждения питаемой постоянным током [3; 4] (рис. 1).

Конструкция включает следующие основные элементы (табл. 1):

- статор с трехфазной обмоткой, при подключении к сети переменного тока, создающей вращающееся магнитное поле [2];
- ротор с обмоткой возбуждения, питаемой постоянным током;
- контактные кольца и щетки для подвода постоянного тока к обмотке ротора [1];
- возбудитель – источник постоянного тока, который в современных системах выполняется на основе тиристорных преобразователей [1].

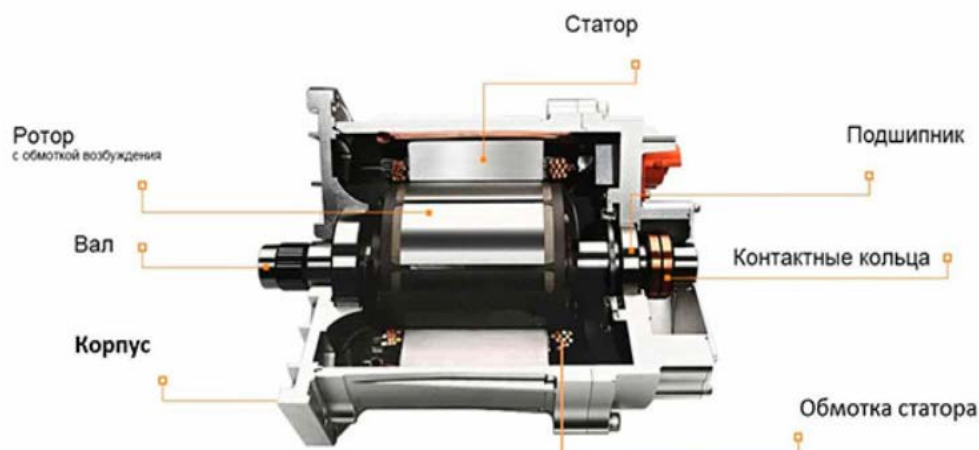


Рис. 31. Синхронный двигатель с обмоткой возбуждения

Роторы таких двигателей могут быть явнополюсными для тихоходных машин и неявнополюсными для высокоскоростных применений [2]. Пуск синхронных двигателей с электромагнитным возбуждением сложен, так как из-за инерции ротор не может сразу достичь синхронной скорости [1]. Для запуска применяются специальные методы: асинхронный пуск с помощью «демпферной» или «пусковой» обмотки типа «беличья клетка», пуск с помощью вспомогательного двигателя или частотный пуск [1; 2].

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) используют для создания магнитного поля ротора высокоэнергетические постоянные магниты [6] (рис. 2). В таких машинах отпадает необходимость в системе подвода тока к ротору, что существенно упрощает конструкцию.

Конструктивные варианты СДПМ различаются по расположению магнитов:

- поверхностные – магниты размещены на поверхности ротора;
- встроенные – магниты встроены внутрь ротор [6].



Рис. 32. Синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов

Магниты изготавливаются из материалов с высокой коэрцитивной силой, таких как сплавы неодима-железа-бора ($Nd-Fe-B$), обеспечивающих стабильные магнитные характеристики в широком диапазоне температур [5].

Статор СДПМ аналогичен статору асинхронного двигателя или синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением и может иметь распределенную или сосредоточенную обмотку [6]. Важной характеристикой является форма обратной ЭДС, которая может быть синусоидальной или трапецеидальной, что определяет выбор системы управления.

Таблица 5

Классификация тяговых синхронных двигателей

Признак	С электромагнитным возбуждением	С магнитным возбуждением (СДПМ)
Источник поля ротора	Постоянный ток от внешнего источника	Постоянные магниты
Конструкция ротора	Обмотка возбуждения на сердечнике	Постоянные магниты на или в сердечнике
Необходимость подвода тока к ротору	Да, через щетки и контактные кольца	Нет
Пусковые устройства	Демпферная обмотка, вспомогательный двигатель	Электронная система управления

Таблица 6

Сравнение характеристик синхронных тяговых двигателей

Параметр	С электромагнитным возбуждением	С магнитным возбуждением
КПД	Высокий (90–95%)	Очень высокий (95–98%)
Регулирование потока	Возможно путем изменения тока возбуждения	Невозможно
Масса и габариты	Большие	Меньше на 15–30% при той же мощности
Пусковые свойства	Асинхронный пуск возможен	Требуется система управления
Надежность	Средняя (из-за щеточного аппарата)	Высокая (бесконтактная конструкция)
Стоимость	Ниже	Выше (из-за дорогих магнитов)

СДМП находят все более широкое применение в различных видах транспорта: электромобили – благодаря высоким удельным показателям и КПД; железнодорожный транспорт – в безредукторных тяговых приводах электропоездов [5]; городской электротранспорт – в троллейбусах, трамваях.

Синхронные двигатели с электромагнитным возбуждением традиционно применяются: в электровозах большой мощности; в промышленном приводе с постоянной скоростью;

Сравнительный анализ синхронных тяговых двигателей с электромагнитным и магнитным возбуждениями показывает, что каждый тип имеет свои области применения.

Синхронные двигатели с постоянными магнитами обладают преимуществами по КПД, массогабаритными показателями и надежности, но требуют сложных систем управления и имеют более высокую стоимость из-за применения дорогостоящих магнитных материалов (табл. 2). Их применение наиболее целесообразно в транспорте с ограничениями по массе и габаритам, где требуется максимальная энергоэффективность.

Синхронные двигатели с электромагнитным возбуждением проще в управлении, допускают регулирование магнитного потока и имеют меньшую стоимость, но уступают по удельным показателям и требуют обслуживания щеточного аппарата (табл. 2). Их применение сохраняется в мощных тяговых приводах, где важна возможность глубокого регулирования параметров.

Библиографический список

1. Что такое синхронный электродвигатель. [Электронный ресурс] URL: <https://drives.ru/stati/chto-takoe-sinhronnyj-ehlektrodvigatel/> (дата обращения: 28.10.2025).
2. *Synchronous Motors*. [Электронный ресурс] URL: <https://www.geeksforgeeks.org/electrical-engineering/synchronous-motor/> (дата обращения: 28.10.2025)
3. *Synchronous Motors*. [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Synchronous_motor (дата обращения: 28.10.2025)
4. Устройство и принцип действия синхронного двигателя. [Электронный ресурс] URL: <https://www.szemo.ru/press-tsentr/article/ustroystvo-i-printsip-deystviya-sinkhronnogo-dvigatelya/> (дата обращения: 28.10.2025)
5. Непосредственный тяговый электропривод локомотива. [Электронный ресурс] URL: <https://rcit.su/techinfoJ6.html> (дата обращения: 28.10.2025)
6. Синхронный двигатель с постоянными магнитами [Электронный ресурс] URL: <https://ru.about-motors.com/motorcontrol/pmsm/> (дата обращения: 28.10.2025)

© Султанов А.Р., Киекбаев Д.И., 2025

УДК 338.49

А.А. МУСИН

Almazmusin2004@gmail.com

А.Р. УРАЗБАХТИН

Urazbahtinalmaz94452@gmail.com

Уфимский университет науки и технологий

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ: ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РЕГИОНЕ

Аннотация: Мировой энергетический ландшафт меняется на глазах. Рост цен на традиционные энергоносители, истощение природных ресурсов и ухудшение экологической обстановки вынуждают искать новые, устойчивые решения. Сегодня переход к «зелёной» энергетике – не просто модный тренд, а вопрос экономической и экологической безопасности.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, солнечная энергетика, гидроэнергетика, региональное развитие, энергоэффективность.

Альтернативные источники энергии (АИЭ) – это способы получения энергии из неисчерпаемых или возобновляемых природных процессов, оказывающих минимальное воздействие на окружающую среду. В их число входят солнечная, ветровая, гидро-, геотермальная и биоэнергетика.

Для Башкортостана наиболее актуальны следующие виды возобновляемой энергетики:

1. Солнечная энергетика – благодаря большому числу солнечных дней (около 260 в год) регион считается одним из самых солнечных в России.
2. Гидроэнергетика – развитая речная сеть обеспечивает значительный потенциал для использования энергии воды.
3. Биоэнергетика – возможна на основе отходов сельского хозяйства и лесопереработки, что особенно важно для аграрных районов.
4. Башкортостан обладает уникальными природными и экономическими предпосылками для внедрения ВИЭ.

Солнечный потенциал: Республика входит в число наиболее солнечных регионов страны. Среднегодовая инсоляция позволяет эффективно эксплуатировать солнечные электростанции, особенно в южных районах, где удельная выработка может достигать 1250 кВт·ч с 1 кВт установленной мощности в год.

Гидроэнергетический потенциал: Разветвлённая речная сеть (реки Белая, Уфа, Нугуш и др.) создаёт благоприятные условия для строительства малых и средних ГЭС.

Инфраструктурные факторы: В регионе уже функционируют крупные объекты электроэнергетики (ГРЭС, ТЭЦ, ГЭС, СЭС), а также создан реестр

генерирующих объектов, работающих на возобновляемых источниках энергии (2023 г.).

Бурибаевская СЭС – солнечная электростанция на территории Хайбуллинского района Башкортостана близ села Бурибай. Первая очередь мощностью 10 МВт введена в эксплуатацию 29 октября 2015 года. Вторая очередь мощностью 10 МВт введена в эксплуатацию 5 декабря 2016 года. На момент открытия Бурибаевская СЭС стала мощнейшей СЭС России без учёта крымских. Является первой промышленной солнечной электростанцией Башкортостана.

Бурибаевская СЭС имеет доступ к единой энергосети. Электроэнергия поступает в общую сеть, поставляя на оптовый рынок по цене, сложившейся на рынке, и дальше передается потребителям. Население при этом вне зависимости от источника электроэнергии оплачивает электроэнергию по установленному в регионе тарифу.

Бугульчанская СЭС – солнечная электростанция на территории Куюргазинского района Башкортостана рядом с селом Бугульчан. Первая очередь на 5 МВт введена в эксплуатацию в декабре 2015 года. Вторая очередь на 5 МВт введена в эксплуатацию 21 октября и третья – 14 ноября 2016 года. Является второй солнечной электростанцией Башкортостана (без учёта мини-СЭС). Примечательно, что Бурибаевская СЭС стала первой СЭС в России, 100% оборудования которой поставлено российскими предприятиями электротехнической и металлообрабатывающей промышленности.

На сегодняшний день в регионе действуют 2 очереди Бурибаевской СЭС (20 МВт) из очереди Бугульчанской СЭС (15 МВт), т.е. установленная мощность солнечной генерации в регионе достигла 35 МВт.

Одним из преобладающих альтернативных энергий в Башкортостане является гидроэлектростанция. ГЭС (гидроэлектростанция) – электростанция, которая использует энергию водного потока для выработки электроэнергии. Обычно ГЭС строят на реках, сооружая плотины и водохранилища. Принцип работы: цепь гидротехнических сооружений обеспечивает необходимый напор воды, которая поступает на лопасти гидротурбины и приводит в действие генераторы, вырабатывающие электроэнергию.

Самая крупнейшая гидроэлектростанция в Башкортостане – Павловская ГЭС, расположена около села Павловка на реке Уфа. Единственная ГЭС на реке Уфа. Имеет установленную электрическую мощность 166,4 МВт.

Перспектива развития СЭС и ГЭС в Башкортостане связаны с использованием возобновляемых источников энергии.

Несмотря на очевидные успехи, развитие альтернативной энергетики сталкивается с рядом трудностей:

1. Высокие капитальные затраты на строительство СЭС и ГЭС.
2. Сложности подключения к сетям и административные барьеры.
3. Недостаток квалифицированных специалистов и низкий уровень информированности населения.

4. Длительный срок окупаемости из-за сравнительно низких тарифов на традиционную электроэнергию.

5. Нестабильность генерации (для солнца и ветра) и высокая стоимость накопителей энергии.

Перспективы развития ВИЭ в Башкортостане связаны с рядом позитивных факторов:

1. Государственная поддержка: создание реестра ВИЭ-объектов и разработка программ стимулирования инвестиций.

2. Технологический прогресс: снижение стоимости солнечных панелей и развитие отечественного производства оборудования.

3. Региональный потенциал: наличие солнечных и водных ресурсов, благоприятных для расширения сетей генерации.

В ближайшие годы прогнозируется рост доли солнечной и гидроэнергетики в энергобалансе республики, что позволит повысить энергоэффективность и экологическую устойчивость региона.

Башкортостан обладает всеми предпосылками для активного внедрения возобновляемой энергетики: богатым природным потенциалом, технологической базой и первыми успешно реализованными проектами. Опыт эксплуатации Бурибаевской и Бугульчанской СЭС, Павловской и Юмагузинской ГЭС подтверждает, что переход к «зелёной» энергетике в регионе уже идёт полным ходом.

Дальнейшее развитие отрасли зависит от государственной поддержки, инвестиций и повышения общественной осведомлённости о преимуществах ВИЭ. Энергия будущего – это не только инновации, но и путь к устойчивому развитию Башкортостана и всей страны.

Библиографический список

1. Исследование: Нужна ли Башкирии альтернативная энергетика? URL: <https://ufa.plus.rbc.ru/news/5a9ccda07a8aa907a1395653>.

2. Велькин, В. И. Возобновляемая энергетика и энергосбережение: учебник / В. И. Велькин, Я. М. Щелоков, С. Е. Щеклеин; составители В. И. Велькин [и др.]; под общей редакцией В. И. Велькина. – 2-е изд. – Москва: ФЛИНТА, 2022. – 312 с. – ISBN 978-5-9765-4991-3. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/231635> (дата обращения: 10.11.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

© Мусин А.А., Уразбахтин А.Р., 2025

УДК 621.43.044

К.Э. ФАРХАДОВ
kamil.korzh@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент А.В. ЛОБАНОВ

Уфимский университет науки и технологий

ТЕХНОЛОГИЯ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА: НОВЫЙ ПОДХОД К ЗАЖИГАНИЮ В ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТАХ

Аннотация: рассматривается технология тлеющего разряда в газоперекачивающем агрегате зажигания

Ключевые слова: установка газоперекачивающая, разряд тлеющий, система зажигания, плазма, камера сгорания, свеча зажигания.

Задача газоперекачивающей установки заключается в надежном и эффективном перекачивании газа. Одна из проблем такой установки – это агрегат зажигания, который использует свечу зажигания (СЗ). Классическая СЗ дает точечную искру, которая может неустойчиво поджигать топливную смесь. Это ограничивает коэффициент полезного действия (КПД) и повышает выбросы.

Существенный интерес для использования в ГТД представляют плазменные системы зажигания, которые можно подразделить на собственно плазменные, плазмохимические, импульсные плазменные [1, 2]. Плазменные системы зажигания привлекают внимание разработчиков двигателей благодаря тому, что не требуют тщательного выбора оптимального места установки свечи в камере сгорания, так как плазменная струя проникает на значительные расстояния и обладает существенно большей поверхностью контакта с горючей смесью, чем искровой разряд в традиционных системах зажигания. Однако в плазменных системах зажигания, в отличие от емкостных систем зажигания с полупроводниковыми свечами, образование разряда критично к параметрам среды [3].

Решение данной проблемы может состоять в использовании не искры, а объемного тлеющего разряда, который равномерно поджигает топливовоздушную смесь.

Тлеющий разряд (рис. 1) – один из видов стационарного самостоятельного электрического разряда в газах [4–6]. Формируется, как правило, при низком давлении газа и малом токе. При увеличении проходящего тока переходит в дуговой разряд. В отличие от нестационарных (импульсных) электрических разрядов в газах, основные характеристики тлеющего разряда остаются относительно стабильными во времени. Сравнение можно провести с люминесцентной лампой или неоновой вывеской, где светится весь газ, а не одна точка.

В двигателе это будет работать следующим образом. Специальный излучатель создает в камере сгорания не искру, а большое облако ионизированного газа (плазмы), которое мгновенно и равномерно охватывает весь объем топливной смеси.

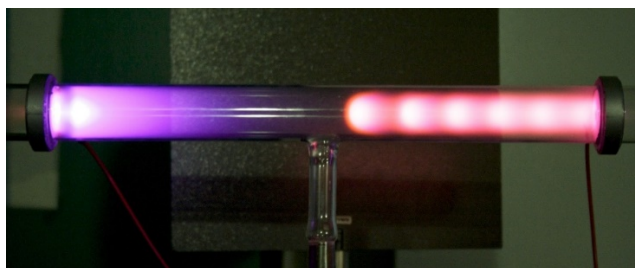


Рис. 1. Тлеющий разряд

Ключевые преимущества тлеющего разряда перед СЗ следующие:

- стабильность работы двигателя, без «пропусков» воспламенения, особенно на низких нагрузках;
- экономия топлива, когда равномерное сгорание топлива позволяет использовать бедные смеси, что снижает расход газа;
- экологичность, полное и равномерное сгорание приводит к значительному снижению вредных выбросов;
- надежность, благодаря отсутствию металлических электродов, которые выгорают, как в свече зажигания. Это потенциально увеличивает срок службы системы.

Кратко опишем принцип действия системы зажигания на тлеющем разряде. Общая принципиальная схема системы зажигания на тлеющем разряде показана на рис. 2.

Система управления состоит из микроконтроллера (*ECU*), который получает данные от датчиков двигателя (положение коленвала, нагрузка, детонация), определяет точный момент для подачи зажигания и ШИМ-контроллера, который получает команду от *ECU* и формирует сигнал точной частоты и скважности для управления силовой частью.

Силовая часть состоит из источника питания, высокочастотного инвертора и повышающего высоковольтного трансформатора. Источник питания – стандартный бортовой источник ГПУ 12В, 24В или 48В. Высокочастотный инвертор преобразует постоянное напряжение от источника в высокочастотный переменный ток (например, 10-100 кГц). Это нужно для эффективной работы следующего каскада. Повышающий высоковольтный трансформатор повышает высокочастотное напряжение до очень высокого уровня (15-30 кВ), но при очень низкой силе тока. Именно такое напряжение необходимо для создания тлеющего разряда, а не искры.

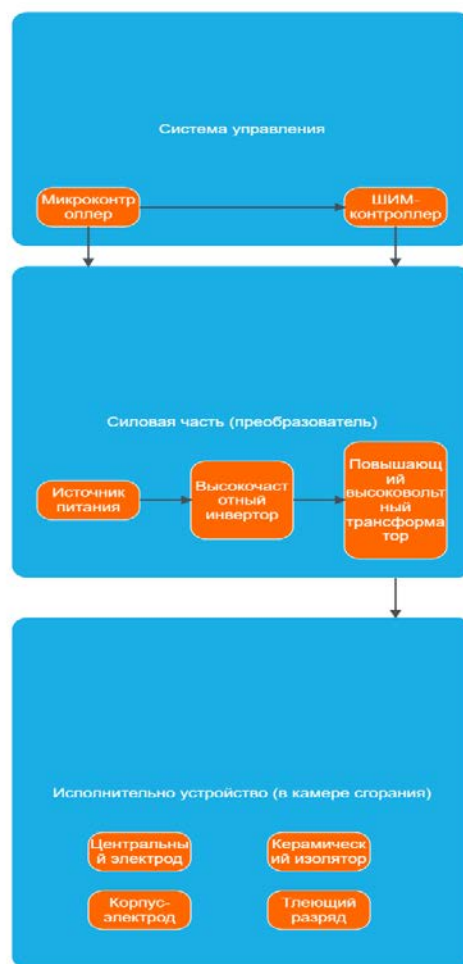


Рис. 2. Общая принципиальная схема системы зажигания на тлеющем разряде

Исполнительное устройство состоит из центрального электрода, керамического изолятора, корпуса-электрода и области тлеющего разряда. Центральный электрод подает высокое напряжение в камеру сгорания. Керамический изолятор должен выдерживать экстремальные температуры (до 1000°C) и давление (десятки атмосфер), обеспечивая при этом надежную изоляцию. Корпус-электрод – заземляющая часть, которая ввинчивается в головку блока цилиндров вместо свечи. Между ним и центральным электродом возникает разряд. Область тлеющего разряда – это и есть главное отличие. Вместо точечной искры между электродами возникает объемное, светящееся облако ионизированного газа (плазмы). Это облако заполняет пространство вокруг излучателя, создавая множество очагов воспламенения по всему объему.

Технология тлеющего разряда – это не просто замена свечи, а принципиально новый, более эффективный способ управления процессом сгорания. Она предлагает реальные преимущества в виде надежности, экономии и экологичности для газоперекачивающих агрегатов. Это перспективное направление для дальнейших исследований и внедрения в газотранспортной отрасли.

Библиографический список

1. Лобанов, А.В. Импульсно-плазменные системы зажигания авиационных двигателей: специальность 05.09.03 "Электротехнические комплексы и системы": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лобанов Андрей Владимирович. – Уфа, 2009. – 129 с.
2. Патент на полезную модель № 86251 U1 Российская Федерация, МПК F02P 3/06. Плазменная система зажигания: № 2009116196/22: заявл. 28.04.2009: опубл. 27.08.2009 / Ф.А. Гизатуллин, Р.М. Салихов, В.А. Чигвинцев [и др.]; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уфимский государственный авиационный технический университет".
3. Универсальный экспериментальный стенд по исследованию устойчивости дугообразования в плазменных системах зажигания / Ф.А. Гизатуллин, Ф.Г. Бакиров, И.З. Полещук [и др.] // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2013. – Т. 17, № 1(54). – С. 141-145.
4. Студенческая библиотека. Газоразрядные приборы. Приборы тлеющего разряда
https://studbooks.net/2058157/matematika_himiya_fizika/gazorazryadnye_pribory
5. WebsorGroup. Тлеющий разряд. https://websor.ru/osnovy/elektricheskie-processy-v-vakuume-i-gazah/tleujji_razryad/
6. Тлеющий разряд и его применение.
<https://megaobuchalka.ru/18/36817.html>

© Фархадов К.Э., 2025

УДК 620.1.08

Р.А. ФЕДОРОВ

uust-FedorovR@yandex.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент. Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВИТКОВЫХ ЗАМЫКАНИЙ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НА ХОЛОСТОМ ХОДУ

Аннотация: в работе рассмотрен подход к выявлению витковых замыканий в трансформаторе, основанный на периодическом измерении параметров на холостом ходу. Описан коэффициент, который в ходе развития виткового замыкания возрастает быстрее, чем величины, предлагаемые в научной литературе. Оценена его чувствительность к витковым замыканиям по сравнению с чувствительностью величин, описанных в научной литературе.

Ключевые слова: трансформатор, витковое замыкание, обмотка, холостой ход.

Введение

Витковые замыкания являются одним из самых частых видов повреждений в силовых трансформаторах. [1,2]

Выявление таких замыканий на ранних стадиях их развития предпочтительно, поскольку позволяет запланировать ремонт трансформатора до того, как повреждение охватит большую часть катушки и будет отключено релейной защитой трансформатора. На ранних стадиях развития витковые замыкания охватывают один или несколько витков катушки, поэтому их влияние на параметры трансформатора незначительно, что затрудняет раннее обнаружение повреждения.

В работе изучается подход к обнаружению витковых замыканий на ранней стадии, предполагающий периодическое измерение параметров трансформатора на холостом ходу. Поскольку такие параметры, как ток холостого хода, неизменны для исправного трансформатора при одинаковых параметрах сети, отклонение контролируемого параметра от ожидаемого значения при очередном измерении (например, при выводе в холостой ход во время очередного обслуживания), указывает на изменения во внутренней цепи трансформатора, то есть на наличие виткового замыкания. При этом на холостом ходу можно регистрировать малые отклонения параметров от ожидаемых значений, которые в нормальном режиме работы незаметны из-за непостоянства нагрузки, подключенной к трансформатору.

Для использования подхода на практике необходимо выбрать параметр, который можно периодически измерять на холостом ходу, и который будет

оставаться постоянным при одинаковых параметрах сети, но резко изменится при наличии виткового замыкания. В качестве такого параметра в научной литературе используются такие величины, как сумма фазных токов [3], ток обратной последовательности [4], мощность и напряжение на катушке трансформатора [5]. Ключевую роль играет чувствительность параметра к развитию замыкания – чем более резко параметр возрастает с развитием замыкания, тем быстрее можно надежно сделать вывод о наличии повреждения в обмотке трансформатора.

Описание разработанного коэффициента для выявления витковых замыканий на холостом ходу

Витковые замыкания образуются из-за дефектов изоляции, поэтому при возникновении поражают обмотку только одной фазы, и сопровождаются несимметрией токов в трех фазах [4]. Они также сопровождаются повышением модулей фазных токов [3]. Для выявления витковых замыканий с большей чувствительностью предлагается использовать математическую модель, учитывающую оба описанных признака.

Для составления математической модели разработан коэффициент, рассчитываемый на основе модулей измеренных фазных токов и модуля тока обратной последовательности. Коэффициент рассчитывается по формуле:

$$F = |\overline{I_{\text{нф}}}| \cdot |\overline{I_2}|, \quad (1)$$

где $|\overline{I_{\text{нф}}}|$ – модуль наивысшего из трех фазных токов, измеренных на вводах трансформатора, А;

$|\overline{I_2}|$ – модуль тока обратной последовательности, А.

Модуль тока обратной последовательности может быть рассчитан согласно [4] по формуле:

$$|\overline{I_2}| = \frac{|\overline{I_A} + a^2 \cdot \overline{I_B} + a \cdot \overline{I_C}|}{3}, \quad (2)$$

где a – коэффициент, применяемый для разворота вектора на 120 градусов, равный e^{j120° ;

$\overline{I_A}, \overline{I_B}, \overline{I_C}$ – комплексные векторы фазных токов.

В результате измерения токов на вводах трансформатора получают значения модулей векторов фазных токов, но не сами комплексные векторы. Тем не менее, необходимые величины можно рассчитать, если знать углы поворота векторов относительно заданной оси. Если принять эту ось такой, чтобы она совпадала с направлением вектора тока фазы А, аналогично [4], тогда соотношение между комплексными векторами и их модулями для фазы А будет иметь вид:

$$\overline{I_A} = |\overline{I_A}| \cdot e^{j0} \quad (3)$$

Для фазы B соотношение будет иметь вид:

$$\bar{I}_B = |\bar{I}_B| \cdot e^{j\varphi_B}, \quad (4)$$

где φ_B – угол между векторами токов фаз A и B .

Для фазы C соотношение будет иметь вид:

$$\bar{I}_C = |\bar{I}_C| \cdot e^{j\varphi_C}, \quad (5)$$

где φ_C – угол между векторами токов фаз A и C .

Векторы $\bar{I}_A$, $\bar{I}_B$ и $\bar{I}_C$ можем изобразить на комплексной плоскости. Такое представление показано на рис. 1.

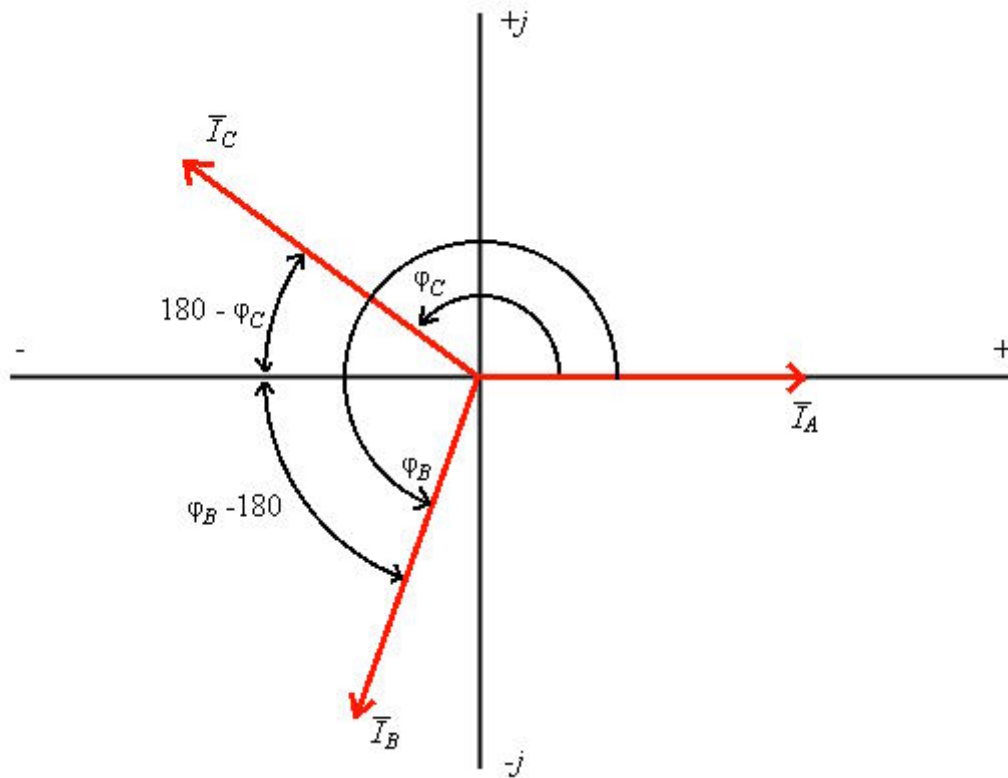


Рис. 1. Представление искомых векторов на комплексной плоскости

Чтобы найти величины φ_B и φ_C , можно составить систему уравнений [4]. Согласно первому закону Кирхгофа, сумма векторов токов трех фаз равна нулю. Из этого следует, что сумма проекций этих трех векторов на ось тоже будет равна нулю. Поэтому для естественной оси можем записать:

$$|\bar{I}_B| \cdot \cos(\varphi_B - 180^\circ) + |\bar{I}_C| \cdot \cos(180^\circ - \varphi_C) = |\bar{I}_A| \quad (6)$$

Для мнимой оси уравнение будет иметь вид:

$$|\bar{I}_B| \cdot \sin(\varphi_B - 180^\circ) = |\bar{I}_C| \cdot \sin(180^\circ - \varphi_C) \quad (7)$$

Возведя равенства (6) и (7) в квадрат и преобразовав их тригонометрически, можем получить систему уравнений с двумя неизвестными. Если условиться, что $\varphi_B - 180^\circ = x$ и $180^\circ - \varphi_C = y$, система уравнений примет вид:

$$\begin{cases} |\bar{I}_B|^2 \cdot \cos(x)^2 = |\bar{I}_A|^2 - 2 \cdot |\bar{I}_A| \cdot |\bar{I}_C| \cdot \cos(y) + |\bar{I}_C|^2 \cdot \cos(y)^2 \\ |\bar{I}_B|^2 \cdot (1 - \cos(x)^2) = |\bar{I}_C|^2 \cdot (1 - \cos(y)^2) \end{cases} \quad (8)$$

В результате решения системы уравнений (8) можно получить значения φ_B и φ_C :

$$\varphi_C = 180^\circ - \arccos\left(\frac{|\bar{I}_A|^2 - |\bar{I}_B|^2 + |\bar{I}_C|^2}{2 \cdot |\bar{I}_A| \cdot |\bar{I}_C|}\right) \quad (9)$$

$$\varphi_B = \arcsin\left(\frac{|\bar{I}_C| \cdot \sin(180^\circ - \varphi_C)}{|\bar{I}_B|}\right) \quad (10)$$

Руководствуясь соотношениями (9) и (10), а также (3), (4) и (5), можно определить комплексные векторы $\bar{I}_A$, $\bar{I}_C$ и $\bar{I}_B$, чтобы найти значение тока обратной последовательности по формуле (2) и рассчитать коэффициент F по формуле (1).

Анализ чувствительности математической модели к витковым замыканиям

Сравнение методов в ходе работы производится на основе их чувствительности к витковым замыканиям. Чувствительность метода определяется из отношения значения контролируемого параметра в некоторый момент повреждения к значению этого параметра при нормальной работе трансформатора. Для сравнения чувствительности нескольких величин нужно сравнить, как быстро они возрастают при появлении и развитии виткового замыкания при аналогичных условиях.

Чувствительность оценена с использованием приведенных в статье [4] значений модулей фазных токов для исправного трансформатора, и значений, полученных при наличии виткового замыкания. Эти значения далее обозначены как точка А и точка Г соответственно. Также приняты две промежуточных точки между случаями А и Г, обозначенные как точка Б и точка В. Единицы измерения токов условно опущены. Принятые значения фазных токов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения измеренных фазных токов на разных этапах развития повреждения

	Ток фазы А	Ток фазы В	Ток фазы С
Точка А	125	99	126
Точка Б	135,5	93	140,4
Точка В	146	87	154,8
Точка Г	160	79	174

В табл. 2 показано, как возрастает коэффициент F по отношению к своему значению для исправного трансформатора в различные моменты протекания виткового замыкания. Для сравнения приведены аналогичные относительные значения для суммы фазных токов, тока обратной последовательности и модуля наивысшего фазного тока для каждой точки.

Таблица 2

Изменение параметров на холостом ходу с развитием повреждения

	Контролируемая величина			
	Сумма фазных токов $ \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C $	Ток обратной последовательности $ \bar{I}_2 $	Наивысший фазный ток (Во всех рассмотренных случаях ток $ \bar{I}_C $)	Коэффициент F
Точка А	350	17,1	126	2155
Точка Б	368,9	28,7	140,4	4030
Точка В	387,8	40,2	154,8	6223
Точка Г	413	55,4	174	9640

Найдя отношения параметров из табл. 2 к соответствующим им значениям параметров в точке А, когда трансформатор исправен, можно оценить, как быстро возрастает каждая величина с развитием повреждения. Чувствительность различных параметров к рассмотренному витковому замыканию графически представлена на рис. 2.

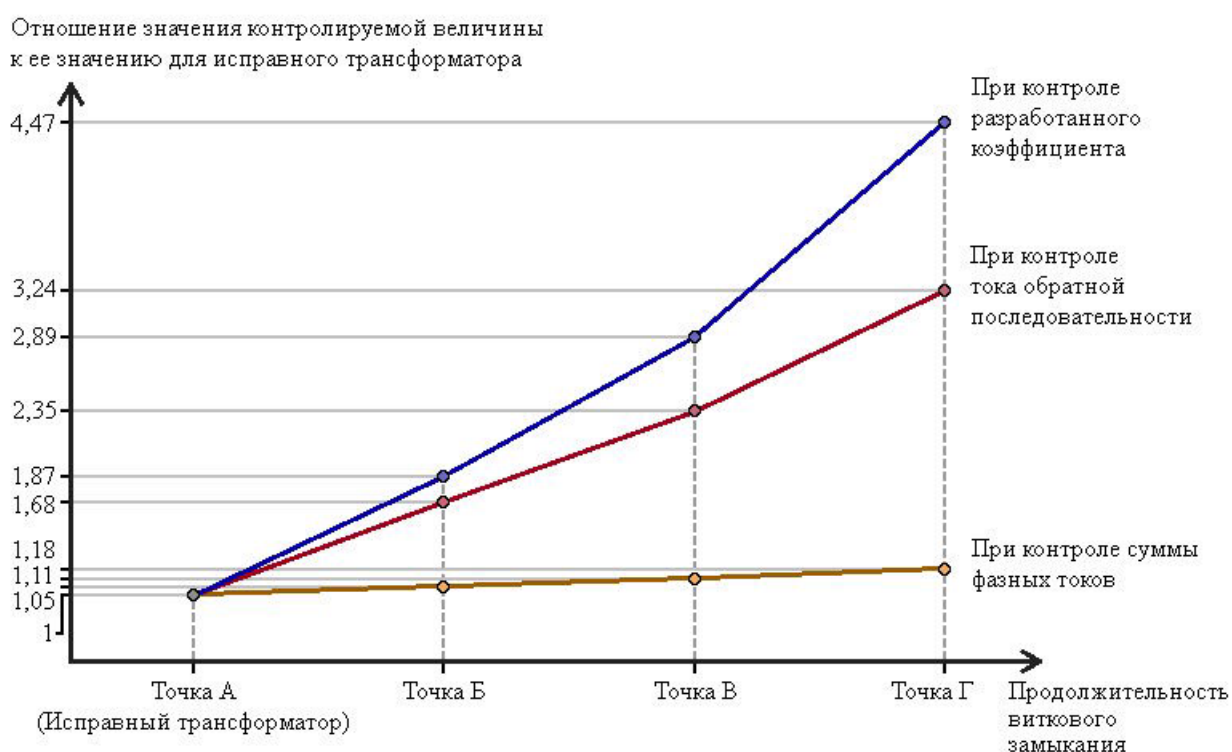


Рис. 2. Относительные значения для различных контролируемых параметров на холостом ходу

Разработана математическая модель, использующая для выявления витковых замыканий коэффициент, который для исправного трансформатора на холостом ходу остается неизменным при неизменных параметрах сети, а при повреждении трансформатора возрастает. Разработанная математическая модель дает чувствительность к витковым замыканиям выше, чем математическая модель, основанная на контроле тока обратной последовательности на холостом ходу. Разработанная математическая модель может быть использована при разработке устройств контроля состояния силовых трансформаторов.

Библиографический список

1. Антонов, В. О. Анализ статистики технологических отказов функциональных узлов силовых трансформаторов 35 КВ и выше / В. О. Антонов // Вестник науки. – 2024. – Т. 4, № 1(70). – С. 755-762.
2. Архипова, О. В. Анализ существующих подходов к мониторингу и диагностике состояния активной части силовых трансформаторов / О. В. Архипова, В. З. Ковалев, Р. В. Сайфуллин // Вестник Югорского государственного университета. – 2024. – Т. 20, № 1. – С. 96-101.
3. Белов, А. В. Выявление признаков межвитковых замыканий в обмотках потребительских силовых трансформаторов / А. В. Белов, Ю. П. Ильин, Р. В. Банин // АПК России. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 970-979.
4. Разработка способов и средств выявления межвитковых замыканий в обмотках силовых трансформаторов / А. В. Белов, О. Р. Шаймухаметова, Ю. П. Ильин [и др.] // АПК России. – 2024. – Т. 31, № 1. – С. 38-44.
5. М.Л. Сапунков, Н.В. Давыдов. Способ выявления витковых замыканий в обмотках трехфазных трансформаторов // Пат. 2645811 РФ: интернет-ресурс. – URL: http://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2645811&TypeFile=html. Дата обращения: 29.10.2025

© Федоров Р.А., 2025

Ш.Ф. ЯИКБАЕВ

yikbae02@gmail.com

Науч. руковод. – канд. техн. наук, проф. Д.Ю. ПАШАЛИ

Уфимский университет науки и технологий

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ SMART GRID В УЧЕТЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Аннотация: исследованы проблемы развития smart grid систем в Республике Башкортостан, выявлены причины и предложены пути их решения

Ключевые слова: smart grid, учет электроэнергии, проблема, кабельная линия

Внедрение интеллектуальных электросетей напрямую повышает надежность кабельных линий благодаря применению современных информационных и коммуникационных технологий для автоматизации управления, мониторинга и диагностики. Рассмотрим проблемы внедрения *smart grid* систем.

Проблема первая, недостаточно достоверная информация по: схемам привязки ТП – ВРУ-0,4 кВ; количеству ПУ и схемам учета; адресам потребителей; кабелям 0,4 кВ, о разрешенной мощности выданной потребителю согласно технических условий, что соответственно затрудняет выбор номиналов ТТ и приборов учета прямого включения. Причины, как правило, в: смене собственников помещений, оформивших договор электроснабжения с энергосбытовой организацией, которая в свою очередь принимала акты разграничения балансовой принадлежности; не достоверной информации в РЭС, соответственно не внесении изменений в схемы РП-ТП, ТП и оперативные карточки диспетчера; ошибки персонала при внесении изменений в документацию. Решение данной проблемы: полная выверка потребителей включенных от РП-ТП, ТП, ВЛ персоналом РЭСа для исключения ошибок со стороны подрядной организации. Для исключения ошибок после выверки необходимо центру хранения документации (акт технологического присоединения, положение о взаимоотношениях с потребителем, схемы РП-ТП, ТП и ВЛ, оперативная карточка диспетчера, разрешение на включение вновь вводимых электроустановок) определить диспетчерскую РЭСа. Ответственным за наличие и своевременное внесение изменений в данную документацию определить оператора диспетчерской группы. Эскизировавший ответственный за составление схем электроустановок должен согласовать схемы с мастером ГУЭЭ, гр. РП-ТП, гр. ВЛ, гр. КЛ и старшим диспетчером и утвердить у главного инженера РЭСа.

Проблема вторая, отсутствие места в РУ-0,4 кВ РП-ТП и ТП для шкафов УСПД, приборов учета, трансформаторов тока. Возможное решение данной проблемы: в случае нарушения габаритов при установке ТТ предусматривать защитные короба. На отдельно установленные рубильники 0,4 кВ устанавливать ящики для монтажа ТТ и ПУ.

Проблема третья, сложность интеграции существующих приборов учета потребителей в АСКУЭ. Требуется установка GSM-модема, при этом есть вероятность сбоя опроса из-за наличия двух модемов. Иногда достаточно заменить сим-карту потребителя на сим-карту ООО «Башкирэнерго», но в этом случае потребитель не может самостоятельно производить опрос из-за закрытой системы ООО «Башкирэнерго» и имеет доступ к показаниям только через личный кабинет сайта ООО «Башкирэнерго». Возможное решение данной проблемы: только диалог с потребителем и предоставление информации по его запросам.

Проблема четвертая, конструктивные недостатки применяемых материалов и оборудования. Возможное решение данной проблемы: входной контроль поступающих материалов и расширенная гарантия подрядчика на производимые работы и материалы.

Проблема пятая, по технологии *PLC*, отсутствует устойчивая связь до электросчетчиков по силовым линиям вследствие высокого уровня помех, наличия старых изношенных сетей (наличие скруток, неизолированных проводов и т.п.) с неоптимальной конфигурацией и множеством подключений. Практическое отсутствие механизма борьбы с потребителями, использующими высокочастотное оборудование, но не применяющих соответствующие фильтры. Типовая дальность связи при использовании *PLC* составляет порядка 100 м, максимальная – 400 метров. Возможное решение данной проблемы: полноценная программа по замене старых не изолированных проводов ЛЭП на самонесущий изолированный провод (СИП), что повысит не только качество связи, но и основную функцию сетевой организации надежное и бесперебойное электроснабжение потребителей. В процессе монтажа СИП и капитальном и текущем ремонте ЛЭП, РП-ТП, ТП производить обработку контактов электропроводящей смазкой.

Проблема шестая, сложность поиска «прошитых» приборов учета. После полного закрытия контура ТП по установке АСКУЭ и сведения баланса электроэнергии по ТП до нормативных значений, последующее появление не баланса означает, скорее всего, хищение электроэнергии. Последующий анализ потребления электроэнергии позволяет выявить, подозрительные ПУ. Далее визуальной проверкой на месте определяется возможное вмешательство в ПУ. Чаще всего приходится менять ПУ на новый, а демонтированный проверять в лаборатории на вмешательство со стороны. Вся эта процедура трудозатратна. Возможное решение данной проблемы: установка ПУ на каждый отходящее направление 0,4 кВ в ТП и сведения баланса по РУ-0,4 кВ. Данное решение исключает неправильную работу вводных ПУ и выявление «прошитых» ПУ в РУ-0,4 кВ ТП. В случае если баланс по РУ-0, 4 кВ сошелся, продолжить анализ

по каждому отходящему направлению. Не баланс по направлению 0,4 кВ от ТП означает наличие потерь и снижает перечень ПУ для анализа в программных комплексах и последующей проверке на месте.

Проблема седьмая, не укомплектованность групп учета электроэнергии в РЭСах техническими средствами, для работы с внедрением и эксплуатацией АСКУЭ: ноутбуки, эталонные приборы учета, бригадные автомобили. Возможное решение данной проблемы: разработать единый перечень набора инструментов, приспособлений и т.д. согласованный с РЭСом и укомплектовать.

Далее рассмотрим основные организационные проблемы внедрения АСКУЭ.

Проблема первая, возможность вмешательства в прибор учета при монтаже подрядной организацией по договоренности с потребителем. Возможное решение данной проблемы: к каждой бригаде подрядчика приставить одного сотрудника РЭСа, который в свою очередь так же осуществляет выверку потребителей и допуск ПУ.

Проблема вторая, работы подрядной организацией по допуску приборов учета электроэнергии оформляются не качественно, без должной выверки потребителя, ошибки в оформлении актов допуска и привязки приборов учета в реестрах к другой трансформаторной подстанции или адресу, что приводит к появлению небаланса по стороне 0,4 кВ в ТП. Для устранения РЭС вынужден привлекать свой персонал для повторной выверки и неоднократно выезжать на место из-за сложности заставить потребителя на месте. Решение данной проблемы: к каждой бригаде подрядчика приставить одного сотрудника РЭСа, который осуществляет выверку потребителей, допуск ПУ и ведение реестра.

Проблема третья, сложность сведения небаланса по стороне 0,4 кВ ТП. Причина в осуществлении установки АСКУЭ программами: в отношении юридических лиц в РУ-0,4 кВ ТП и физических лиц на ВЛ-0,4 кВ один подрядчик, в ВРУ-0,4 кВ многоквартирных жилых домов другой подрядчик. Пути решения данной проблемы: установка АСКУЭ с закрытием контура по стороне 0,4 кВ ТП полностью: вводные ПУ, на собственные нужды и в отношении юридических лиц в РУ-0,4 кВ ТП, физических лиц на ВЛ-0,4 кВ, в ВРУ-0,4 кВ многоквартирных жилых домов, как в отношении квартир и общедомовых нужд, так и в отношении нежилых помещений подключенных от ВРУ-0,4 кВ многоквартирных жилых домов до учета, выполняет один подрядчик. Норматив допустимого небаланса, то есть потерь электроэнергии привести к техническим, по которым подрядная организация обязана довести и сдать сетевой организации. Прием баланса по ТП осуществлять по программному комплексу 1С БЭСК: УТЭЭ, где принимаются к расчету только коммерческие ПУ.

Проблема четвертая, сверхнормативная загруженность существующего персонала РЭС по учету электроэнергии при реализации проекта по внедрению АСКУЭ и поддержанию работоспособности в последующем. Что вынуждает привлекать персонал распределителей для выверки схем учета и т.д., с негативными последствиями для распределителей: снижает количество работ по ремонту основного оборудования и влияет на надежность и качество электроснабжения

потребителей. Решение данной проблемы: привлечение подрядной организации по эксплуатации ПУ по заявкам РЭСа.

Проблема пятая, отсутствие единого понимания организации АСКУЭ. В отношении кого, где и сколько приборов учета устанавливать. Причина в отсутствии регламента организации интеллектуального учета в трансформаторных подстанциях по стороне 6 кВ и 0,4 кВ, на ВЛ-0,4/6 кВ и в многоквартирных домах в отношении физических и юридических лиц, соответственно каждый РЭС устанавливает АСКУЭ по своему усмотрению. Возможное решение данной проблемы: разработать и утвердить регламент в после общего обсуждения со всеми РЭС и непосредственном их участии.

Проблема шестая, не организовано использование функционала дистанционного оперирования коммутационным реле встроенный в прибор учета, который предоставляет возможность дистанционно ограничивать или восстанавливать потребление электроэнергии потребителей по заявкам энергосбытовой компании. Решение – на компьютер диспетчера РЭСа установить программное обеспечение по оперированию коммутационным реле встроенный в прибор учета. Разработать и утвердить инструкцию по работе с данным функционалом ПУ, что позволит снизить затраты сетевой организации на выезд бригад по ограничению потребителей.

Проблема седьмая, ошибочное мнение, что по фидерной баланс электроэнергии по стороне 6-10 кВ в городском РЭСе поможет найти реальные потери электроэнергии. Причина такого мнения возможность сведения по фидерного баланса в сельских РЭСах, где отсутствует множество связей между фидерами. В сельском РЭСе, как правило, тупиковая схема или фидер связан с одним, двумя редко больше фидерами. В свою очередь фидера городского РЭСа имеют связи и с пятью, десятью фидерами. Сведения баланса по фидерам в городском РЭСе требует больших трудозатрат без гарантии нахождения потерь в сетях, так как появление небаланса возникает не только из-за хищения электроэнергии, но и при переключениях в сетях 0,4/6/10 кВ. Переключения в сетях находящиеся в оперативном управлении РЭСа можно контролировать, но это требует больших трудозатрат по перепривязке потребителей в 1С БЭСК: УТЭЭ, то есть каждый раз, когда произвели переключения между фидерами нужно отвязать потребителя от фидера к которому он привязан по нормальной схеме и привязать к фидеру на который он переведен. Эту работу нужно будет выполнять каждый раз, когда производятся переключения, а в день только по одному РЭСу изменение нормальной схемы может доходить до 30 ТП и более. В результате персонал РЭСа, затратив большие ресурсы, предполагая, что идет хищение электроэнергии выяснит, что потребитель выполнил переключения без согласования с диспетчером РЭСа. Возможное решение данной проблемы: отказаться от по фидерного баланса, кроме тупиковых схем и перейти в городском РЭСе на сведения баланса по РП-ТП, ТП по стороне 0,4 кВ.

© Яикбаев Ш.Ф., 2025

УДК 621.313.333

Р.Р. ШАНГАРЕЕВ

cs_ruslan03@mail.ru

Науч. руковод. – канд. техн. наук, доцент И.И. ЯМАЛОВ

Уфимский университет науки и технологий

О ПРЕИМУЩЕСТВАХ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ЛЁГКИХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: в статье рассматриваются особенности применения синхронных двигателей в составе электроприводов лёгких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Приведены преимущества синхронных машин по сравнению с другими типами электродвигателей, рассмотрены конструктивные и эксплуатационные особенности, а также требования, предъявляемые к энергетическим системам малых БПЛА.

Ключевые слова: синхронный двигатель, беспилотный летательный аппарат, электропривод, бесщёточный двигатель, эффективность, управление, редуктор, аккумулятор.

Актуальность разработки эффективных и надёжных двигателей для лёгких беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) обусловлена бурным развитием отрасли малой авиации и робототехники, например, Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1630-р от 21 июня 2023 г., утверждающим Стратегию развития беспилотной авиации до 2030 года [1], Постановление № 190 от 9 февраля 2023 г. о создании Правительственной комиссии по вопросам развития БПЛА [2] и др. БПЛА широко применяются в задачах аэрофотосъёмки, мониторинга, доставки грузов, сельского хозяйства и оборонной промышленности и т.д. Основным элементом силовой установки БПЛА является электродвигатель, от которого зависят грузоподъёмность, дальность полёта и устойчивость в целом.

В настоящее время наибольшее распространение получили бесщёточные синхронные двигатели с постоянными магнитами (*BLDC* или *PMSM*). Они сочетают высокую удельную мощность, высокий КПД (до 95 %), компактность и простоту управления при использовании современных контроллеров на основе ШИМ. В отличие от асинхронных и коллекторных машин, синхронные двигатели не требуют узла замены щёток и обладают большей долговечностью.

Основным элементом синхронного двигателя является ротор с постоянными магнитами, выполненный из сплава *NdFeB*, обеспечивающего высокую магнитную индукцию при малых массогабаритных показателях. Статор формируется из шихтованной электротехнической стали с трёхфазной обмоткой, питаемой от инвертора. Управление токами фаз позволяет

формировать вращающееся магнитное поле и поддерживать синхронную скорость вращения ротора.

Для БПЛА критически важны показатели удельной мощности и энергоэффективности. Поэтому конструкция двигателя проектируется с учётом минимизации потерь на вихревые токи и трение, применения тонких изоляционных покрытий и лёгких композитных материалов для корпуса. Охлаждение осуществляется естественной конвекцией или потоком воздуха от пропеллера. Существенную роль играет система управления. В современных БПЛА используется векторное управление (*FOC – Field Oriented Control*), позволяющее плавно регулировать тягу, момент и скорость вращения при сохранении стабильной синхронизации. Контроллер взаимодействует с датчиками Холла или энкодерами, обеспечивая точное определение положения ротора.

При проектировании энергетической системы БПЛА важным фактором является баланс между мощностью двигателя и ёмкостью аккумулятора. Для лёгких аппаратов (до 5 кг) обычно применяются двигатели мощностью 300–800 Вт, питаемые от литий-полимерных аккумуляторов 4S–6S (14,8–22,2 В). Использование синхронных двигателей с постоянными магнитами позволяет увеличить время полёта на 10–15 % по сравнению с асинхронными аналогами за счёт снижения потерь. Кроме того, синхронные двигатели обеспечивают высокую динамику отклика, что особенно важно при автоматической стабилизации полёта и компенсации внешних возмущений (ветер, турбулентность). При правильном выборе редуктора и пропеллера можно достичь оптимального соотношения между тягой и током потребления.

Современные тенденции включают внедрение бесдатчиковых систем управления, которые снижают массу и упрощают конструкцию БПЛА. Также ведутся исследования по применению высокотемпературных магнитов и новых композитных материалов для повышения термостойкости и надёжности двигателя при длительных полётах.

Таким образом, синхронные двигатели с постоянными магнитами являются наиболее перспективным типом привода для лёгких беспилотных летательных аппаратов благодаря сочетанию компактности, энергоэффективности, высокой удельной мощности и простоты обслуживания.

Библиографический список

1. Ильин, В.Ю. Электрические машины: учебник для вузов. – М.: Академия, 2020. – 480 с.
2. Мартынов, А.А. Электроприводы и системы управления для БПЛА // Авиационные системы. 2023. № 4. С. 22–29.
3. Krishnan R. Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives. – CRC Press, 2017. 598 p.

© Шангареев Р.Р., 2025

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 3.1. Информационно-измерительная техника и авионика Батыршин И.Ф.	
Имитатор сигналов датчиков блоков систем управления	3
<i>Бикметов Т.З.</i> Влияние шероховатости поверхности лопадки на точность измерения радиального зазора волоконно-оптическим методом.....	7
<i>Бобров Г.И.</i> Блок дистанционной передачи данных по протоколу LoRa.....	13
<i>Ираев Д.Г.</i> Видеомониторинг состояния пчелосемей	19
<i>Кодо Р.Р.</i> Система локального позиционирования на основе радиочастотных излучающих сенсоров.....	22
<i>Кокорышкин Ф.Р.</i> Блок пространственного управления моделями и электронными устройствами.....	27
<i>Корепанов И.А.</i> Система генерации и контроля магнитного поля.....	32
<i>Лелейтнер К.О., Мавлембирдин Б.Р.</i> Применение модели логарифмической спирали для проектирования перспективного робототехнического захватного устройства.....	36
<i>Путинцев Д.И.</i> Устройство для контроля состояния мышц при реабилитации.....	42
<i>Сандалов И.С.</i> Исследование влияния параметра усиления на устойчивость системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом.....	46
<i>Степанчиков О.В.</i> Оптимизация маршрутов и расписания полетов беспилотных летательных аппаратов в сети автоматических сервисных станций.....	52
<i>Стуколкин А.С.</i> Использование технологий искусственного интеллекта для контроля состояния объектов.....	57
<i>Федотов А.Г.</i> Системы измерения положения поршня гидроцилиндра: обзор технологий и принципов действия.....	63
<i>Хайруллин В.В.</i> Обзор методов обработки гиперспектральных изображений.....	68
Секция 3.2. Биомедицинская инженерия	
<i>Аминев Д.Р.</i> Организация лабораторной службы.....	74
<i>Аюпов Г.Т.</i> Роль автоматических наружных дефибрилляторов в снижении смертности от внезапной сердечной смерти.....	77
<i>Бабикова А.А.</i> Использование биомаркеров 0-типа для оценки уровня здоровья человека.....	82
<i>Багаутдинова Д.Ш.</i> Создание и верификация прототипа имитационной модели для оценки физического здоровья в среде динамического моделирования SimInTech.....	85
<i>Бахтин Д.И.</i> Разработка конструкторской документации на медицинское изделие – почечный валик.....	92
<i>Варакута Д.О.</i> Сравнительный анализ систем непрерывного	

мониторинга глюкозы и стандартных глюкометров.....	97
<i>Вильданов Р.И.</i> Современные биомедицинские сенсоры для мониторинга здоровья человека.....	100
<i>Гиззатуллина К.И.</i> Лабораторные медицинские анализаторы: разновидности и методики измерений.....	104
<i>Грачев А.А.</i> Принцип работы и режимы современной искусственной вентиляции легких.....	108
<i>Заводчиков А.А.</i> К вопросу о функционировании системы мониторинга параметров чистых помещений в операционных.....	112
<i>Закирзянов М.У.</i> Современные аппараты магнитолазерной терапии: анализ и выбор оптимальной конфигурации.....	115
<i>Иванова У.В.</i> Аналитический обзор работ на тему бережливого производства в здравоохранении.....	119
<i>Иванова У.В.</i> Бережливое здравоохранение сегодня.....	124
<i>Ишмуратова Р.М., Ермакова Ш.Р., Сабитова Д.С.</i> Обзор на хирургический лазерный аппарат.....	127
<i>Кирилов М.С.</i> Применение нейронных сетей для классификации и формирования рекомендаций.....	131
<i>Кирилов М.С.</i> Обзор существующих решений для оценки рациона питания с помощью интеллектуальных систем.....	135
<i>Кудаяров И.М.</i> Разработка структурной схемы коагулометра.....	141
<i>Кудряшова Р.А.</i> Скальпельный электрод плода.....	145
<i>Мельников Н.П.</i> Анализ эффективности моделей прогнозирования сердечно-сосудистых заболеваний на основе технологий больших данных.....	149
<i>Молдыгалиев Н.А.</i> Моделирование воздействия внешних источников магнитного поля на кардиостимулятор.....	155
<i>Муругов С.С.</i> Протезы верхних конечностей.....	161
<i>Мустафина Ю.Н.</i> Инвазивные и неинвазивные методы исследования уровня сахара в крови: преимущества и недостатки.....	164
<i>Мусякова А.В.</i> Решение проблем конфиденциальности и безопасности данных в интеллектуальной диагностике.....	168
<i>Мусякова А.В.</i> Интеллектуальная система диагностики заболеваний человека на основе сбора данных.....	171
<i>Мухаметшин Р.А.</i> Разработка структурной схемы устройства для диагностики и реабилитации обонятельных нарушений.....	174
<i>Пономарева Д.И.</i> Архитектура и IoT-датчики в неонатальных кувезах.....	179
<i>Пономарева Д.И.</i> Аналитический обзор неонатальных кувезов на базе IoT-технологий.....	183
<i>Порошина О.А.</i> Обзор методов мультиклассовой классификации при применении машинного обучения в медицине.....	187
<i>Рафиков Т.Ш.</i> Релевантность применения технологий обработки естественного языка для работы с клиническими рекомендациями.....	193
<i>Рафиков Т.Ш.</i> Цифровизация управленческой деятельности в здравоохранении: роль технологий искусственного интеллекта.....	196

<i>Решетникова Ю.Е.</i> Игровые системы с нейроинтерфейсами и биологической обратной связью как средство формирования усидчивости у школьников младшего и среднего звена.....	200
<i>Рожкина А.А.</i> Обзор существующих решений для диагностики кожных заболеваний с помощью медицинских интеллектуальных систем.....	206
<i>Романов Д.А.</i> Требования к медицинским программным продуктам.....	212
<i>Рузанова Н.В.</i> Методика проектирования устройства для лечения ран отрицательным давлением.....	215
<i>Рузанова Н.В.</i> Анализ факторов внешней и внутренней среды при выводе на рынок аппарата для лечения ран отрицательным давлением.....	221
<i>Сабитова Д.С., Ермакова Ш.Р., Ишмуратова Р.М.</i> Разработка структурной схемы гемоглобинометра.....	228
<i>Садыков А.Р.</i> Цифровой двойник в биомедицинской инженерии.....	232
<i>Сафиуллин А.Р., Халилова З.Ф.</i> Персонализация в области протезирования.....	235
<i>Султанова И.Р.</i> Современные методы измерения внутриглазного давления.....	239
<i>Фатхиев Д.А.</i> Сравнительный анализ интеллектуальных систем диагностики по симптомам: подходы, особенности и ограничения.....	244
<i>Фатхиев Д.А.</i> Интеллектуальная система поддержки диагностики заболеваний по симптомам: структура, алгоритмы и перспективы применения.....	247
<i>Фролова О.П.</i> Разработка структурной схемы аппарата для регистрации апноэ сна.....	250
<i>Хакимова Р.А.</i> Устройство для определения эластичности кожи.....	253
<i>Халилова З.Ф.</i> Применение TMR-технологии как способ снижения экономического бремени государства.....	257
<i>Хузин Д.И.</i> Интраоральный сканер.....	260
<i>Цибрин А.Ю.</i> Способы управления биоэлектрическим протезом.....	266
Секция 3.3. Инфокоммуникационные системы и технологии.	
<i>Алексакина Я.В.</i> Исследование оптимальных сигналов для устойчивой передачи данных в сверхширокополосных (UWB) сетях.....	270
<i>Антипова В.Е.</i> Алгоритм поиска и фильтрации сигналов гидроакустических систем связи.....	275
<i>Галеев З.З., Кабиров А.А.</i> Роль информационных технологий в трансформации современного общества.....	281
<i>Галеев З.З., Дерябин Н.В., Аккучукова А.И.</i> Численный метод решения модифицированного уравнения Бесселя в цилиндрических координатах.....	285
<i>Забродин Н.А.</i> Безэховая камера для исследования экранирующих свойств различных материалов.....	289
<i>Кудряшова Р.А.</i> Чат-бот как инструмент цифровой коммуникации и автоматизации.....	293
<i>Лисин А.Е., Мелконян Г.А., Нурутдинов А.Э.</i> Применение	

комбинированного измерительного прибора OSA103F при изучении спектра сигналов.....	298
<i>Лисин А.Е., Мелконян Г.А., Нурутдинов А.Э.</i> Исследование влияния весовых окон на спектр сигнала при помощи комбинированного измерительного прибора OSA103F.....	302
<i>Нефёдова Д.С., Олькова Н.С.</i> Влияние параметров кодирования видеопотоков на точность детекции ключевых точек в телекоммуникационных системах реального времени.....	308
<i>Шаринов А.А.</i> Разработка системы интеллектуального контроля концентрации микрочастиц в помещении.....	313
Секция 3.4. Электромеханические и электроэнергетические системы	
<i>Жирнова Л.Р.</i> Техничко-экономическое обоснование применения альтернативных диэлектриков в силовых трансформаторах на ГРЭС.....	317
<i>Исянгильдина Э.А.</i> Исследование и анализ эффективности применения автоматических приводов для разъединителей 110 кВ на электростанциях и подстанциях.....	322
<i>Сандакова У.И.</i> Применение аморфных трансформаторов для повышения энергоэффективности в системе собственных нужд электростанции.....	326
<i>Шайдуллин Р.Т.</i> Снижение расхода электроэнергии на собственные нужды ГРЭС при переходе от асинхронных двигателей с низким КПД на современные IE3-IE4.....	331
<i>Андреев А.К.</i> Применение интеллектуальных технологий управления качеством электрической энергии на предприятиях промышленности.....	335
<i>Батыев А.Р.</i> Выбор подшипников в электрических машинах.....	341
<i>Бородин Д.С.</i> Электрические двигатели с аксиальным магнитным потоком. Сферы применения и конструкции.....	346
<i>Бочков Д.А.</i> Примеры использования технологии сверхпроводимости в отечественной энергетике.....	350
<i>Букреев М.Е.</i> Автоматизация расчетов параметров установившихся режимов в программном комплексе RastrWin3.....	354
<i>Миргалиев А.А.</i> Основные конструкции статоров высокоскоростных машин. Достоинства и недостатки.....	358
<i>Еникеев И.Э.</i> Электрические генераторы гражданских самолетов: виды, принцип работы, зарубежные аналоги.....	361
<i>Васильев П.А.</i> Регулирование возбуждения авиационных генераторов на борту российского гражданского самолета.....	365
<i>Чирков М.С.</i> Компактные линии электропередачи.....	369
<i>Кудрявцев Н.С.</i> Обзор технологий информационного моделирования объектов энергетики.....	375
<i>Семенов Я.О.</i> Применение технологий информационного моделирования в электроэнергетике.....	380

<i>Кузнецова А.А.</i> Уязвимость электроэнергетической системы России вследствие внедрения глубокой цифровизации.....	384
<i>Галиева А.А., Сидоров А.С., Смагина Я.Е.</i> Основные направления модернизации синхронных двигателей.....	389
<i>Бывальцев А.Е.</i> Стенд для исследования магнитоэлектрических демпферов.....	393
<i>Киекбаев Д.И.</i> Сравнительный анализ элементов электропривода вертикализатора.....	396
<i>Щекатуров И.А.</i> Методы защиты силовых трансформаторов, работающих в условиях морского климата.....	402
<i>Пихтовников В.К.</i> Синхронный генератор контейнерного типа.....	406
<i>Нургалиев А.Ф.</i> Синхронный реактивный двигатель с катящимся ротором для инвалидной коляски.....	410
<i>Галиева А.А., Сидоров А.С., Смагина Я.Е.</i> Основные направления модернизации асинхронных двигателей.....	414
<i>Кабилов Р.Р., Саликаев Н.И., Фазлыев Д.И.</i> Асинхронный двигатель закрытого типа для импеллерного насоса.....	417
<i>Фахретдинов Р.И.</i> Анализ тяговых электродвигателей высокоскоростных поездов.....	421
<i>Стрижов Е.С.</i> К анализу работы трансформаторов для ветроэлектростанций.....	427
<i>Гусев Д.С.</i> Обзор методов обеспечения отказоустойчивости вентильных электродвигателей для самолётов.....	431
<i>Богданов Б.Е.</i> Актуальность применения агрегата зажигания в современных конструкциях турбостартеров авиационных систем.....	435
<i>Абдуллин Д.А., Каифетдинов Д.З., Шакиров А.М.</i> Генератор синхронный для резервного источника питания коттеджного поселка.....	439
<i>Туальбаев К.И., Баганов Р.З., Морин Н.А.</i> Использование системы CAD в проектировании электрических машин.....	443
<i>Бимятов В.И.</i> Перспективы применения линейного электромагнитного привода для сейсморазведки.....	446
<i>Вавилов И.П.</i> Оперативный поиск мест повреждений на ВЛ-6(10) кВ.....	449
<i>Винокурова М.Т.</i> Снижение коммерческих потерь электрической энергии.....	452
<i>Власов К.В.</i> Изолятор-разрядник штыревой фарфоровый мультикамерный.....	457
<i>Жерновкова М.Н.</i> Анализ использования программного продукта «PF.Protection» при расчетах токов короткого замыкания и параметров настройки устройств релейной защиты и автоматики.....	463
<i>Закиров Ш.М.</i> Техничко-экономическое обоснование применения обратимой синхронной машины в сравнении с отдельными насосно-турбинными агрегатами в гидроаккумулирующей электростанции...	466
<i>Захаров С.С.</i> Сравнение схем гибридных установок автомобилей.....	470
<i>Малаев А.У.</i> Двигатель постоянного тока для закрылков самолета.....	474

<i>Махиянов А.В.</i> Влияние ветровой нагрузки на напряжение и методы его стабилизации.....	477
<i>Махиянов А.В.</i> К вопросу стабилизации напряжения трёхфазного генератора ветроэнергетической установки.....	481
<i>Низамова Н.Р.</i> Разработка методологии выбора трассы ВЛЭП на базе тестовых полигонов.....	485
<i>Низамова Н.Р.</i> Оптимизация распределения электрической энергии в сетях...	491
<i>Нугуманов Э.Р., Сайфуллин И.М.</i> Использование импульсного вращающегося трансформатора в системе возбуждения бесконтактного асинхронизированного синхронного генератора.....	496
<i>Нуртдинов Р.Р.</i> Анализ эффективности действий оперативного персонала при ликвидации аварий в системе электроснабжения города Дюртюли: количественные и качественные показатели.....	501
<i>Овсяников К.А., Галеев Д.З.</i> Сравнительный анализ промышленных и бытовых ветрогенераторов.....	505
<i>Овсяников К.А., Галеев Д.З.</i> Гибридные ветрогенераторы: сочетание преимуществ вертикальных и горизонтальных моделей.....	509
<i>Рязанов Д.В.</i> Влияние взаимного затенения на энергетическую эффективность солнечных электростанций.....	513
<i>Сагитов В.С.</i> Электродвигатель тельфера.....	517
<i>Сакаев Р.Р., Сычёв Н.А., Ваганов И.И.</i> Использование электродвигателей в системах вентиляции морских судов.....	521
<i>Сарваров Д.Р.</i> Разработка и анализ электропривода для реабилитационной кровати: требования, выбор и перспективы.....	525
<i>Султанов А.Р., Киекбаев Д.И.</i> Сравнение тяговых магнитоэлектрических синхронных двигателей с электромагнитным возбуждением.....	529
<i>Мусин А.А., Уразбахтин А.Р.</i> Альтернативные источники энергии: практический опыт и перспективы применения в регионе.....	533
<i>Фархадов К.Э.</i> Технология тлеющего разряда: новый подход к зажиганию в газоперекачивающих агрегатах.....	536
<i>Федоров Р.А.</i> Математическая модель для выявления витковых замыканий силовых трансформаторов на холостом ходу.....	540
<i>Яикбаев Ш.Ф.</i> Проблемы развития <i>smart grid</i> в учете электроэнергетики и возможные пути решения.....	546
<i>Шангареев Р.Р.</i> О преимуществах применения синхронных двигателей для лёгких беспилотных летательных аппаратов.....	550

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

***XIX Всероссийской молодёжной научной конференции
(г. Уфа, 24 – 28 ноября 2025 г.)***

Электронное издание сетевого доступа

*За достоверность информации, изложенной в статьях,
ответственность несут авторы.*

Статьи публикуются в авторской редакции

Подписано к использованию 29.12.2025 г.
Гарнитура «Times New Roman». Объем 18,29 Мб.
Заказ 404.

***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