

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА

**(электротехника, теплоэнергетика, математическое моделирование
и информационные технологии в производстве)**

**XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ**

15 апреля 2026 г.

СБОРНИК ТРУДОВ ТОМ 1

СЕКЦИИ 1,2,3

**СМОЛЕНСК
2026**

УДК 621.31+621.3+536+621.1+62.003+621.38
И74

Р е ц е н з е н т ы :

Кандидат технических наук, доцент Рожков В.В.
Кандидат технических наук, доцент Галковский В.А.
Кандидат технических наук, доцент Свириденкова М.А.
Кандидат технических наук, доцент Синявский Ю.В.

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И
ЭКОНОМИКА** (электротехника, теплоэнергетика, математическое моделирование и
информационные технологии в производстве). Сб трудов XXIII -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов
и аспирантов. В 3 т. Т 1. – 2026. – 487 с.

ISBN 978-5-91412-567-4

В сборнике публикуются труды участников Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Информационные технологии, энергетика и экономика», в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области электротехники, теплоэнергетики, математического моделирования и информационных технологий в производстве.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в данных научных областях.

ISBN 978-5-91412-567-4

©Авторы

©«Универсум»

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2026

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

*К.О. Арбузов, К.Е. Корнеев, студ., В.В. Федотов, асп.;
рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАДАТЧИКА ИНТЕНСИВНОСТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ¹

Проектирование современных электроприводов (ЭП) сопровождается выполнением ряда требований к работе привода как в статике, так и в динамике. Так, к примеру, одним из таких требований является ограничение динамического момента ЭП для снижения ускорения и динамических усилий на элементы приводного механизма.

Реализация систем управления, в которых сигнал задания имеет скачкообразную форму, сопровождается рядом негативных факторов. Одним из них является наличие бросков тока, в несколько крат от номинального в первоначальный момент времени. Наличие этих бросков тока приводит к росту динамического момента, и, как следствие, к дополнительным ударным нагрузкам в кинематических цепях ЭП [1], ускоряющих износ приводного механизма.

Для ЭП наиболее распространенной реализацией управления с предопределёнными свойствами является замкнутая двухконтурная система подчиненного регулирования. В такой системе ограничение динамического момента осуществляется за счет ограничения сигнала задания на внутренний контур тока от внешнего регулятора скорости. Как правило, это ограничение составляет 2,5-3,0 номинального тока электрического двигателя [2], что соответствует его паспортной перегрузочной способности.

На практике наличие в производственном цикле большого числа интервалов работы ЭП с превышением тока в 2,5-3,0 раза от номинального приводит к сокращению срока службы электрической машины вследствие ее перегрева и снижению ресурса механики ЭП. Известным решением этой проблемы является использование задатчика интенсивности вместо скачкообразного сигнала задания. Задатчик интенсивности (ЗИ) формирует плавный закон изменения сигнала задания, например, по линейному закону, и, как следствие, обеспечивает снижение динамического момента при пуске ЭП.

Целью настоящей статьи является исследование динамических процессов ЭП при его пуске с наличием задатчика интенсивности и без него с использованием средств компьютерного моделирования.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта государственного задания № FSWF-2026-0010.

Компьютерная модель датчика интенсивности, реализованная по схеме из [4], представлена на рисунке 1. Внешний усилитель имеет ограничение, реализованное с помощью стабилитронов. В качестве стабилитронов использовались модели диодов с заданием величины обратного напряжения пробоя диода, равной 10 В. Первый операционный усилитель отвечает за выполнение ограничения выходного сигнала, второй – за интегрирование сигнала, третий – за формирование обратной связи.

Расчет темпа изменения выходного сигнала ЗИ выполняется по формуле:

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{U_1}{R_{\text{ВХ2}} \cdot C_{\text{ВХ2}}} \cdot t,$$

где: $U_{\text{ВЫХ}}$ – сигнал задания скорости вращения двигателя, U_1 – сигнал, поступающий на вход датчика интенсивности, $R_{\text{ВХ2}}$ – значение сопротивления, подключенного к инверсному входу операционного усилителя 2, $C_{\text{ВХ2}}$ – значение ёмкости конденсатора, включенного в обратную связь операционного усилителя 2.

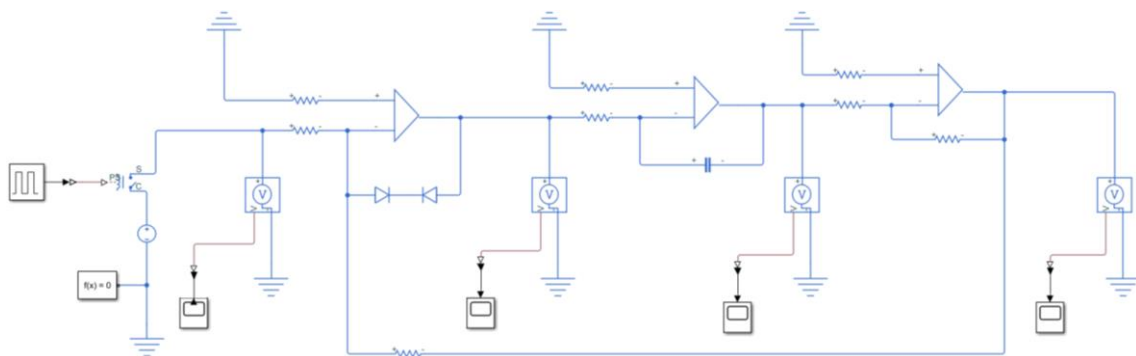


Рисунок 1 – Электрическая схема датчика интенсивности в среде компьютерного моделирования MatLab

Для исследования динамических процессов ЭП при его пуске с наличием и без датчика интенсивности разработана модель ЭП с двигателем постоянного тока, представленная на рисунке 2.

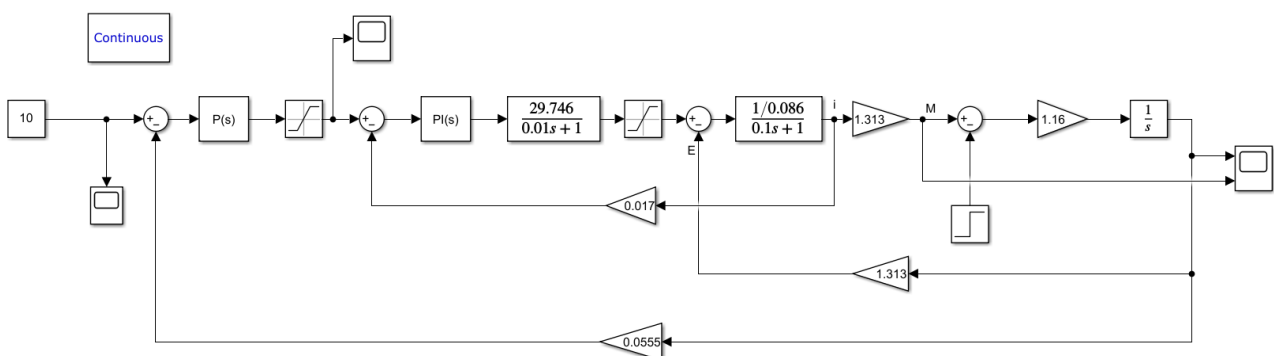


Рисунок 2 – Структурная модель электрического двигателя постоянного тока с параметрами из таблицы 1

Основные параметры используемой в модели электрической машины представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Номинальные параметры двигателя постоянного тока

Параметр	Значение
Мощность	45 кВт
Напряжение	220 В
Ток якоря	233,8 А
Электромагнитный момент	286,5 Н·м
Момент инерции	0,6 кг·м ²
Скорость номинальная	157 рад/с

Моделирование выполнялось при скачкообразном изменении сигнала задания (рисунок 3, а) и при использовании задатчика интенсивности (рисунок 3, б).

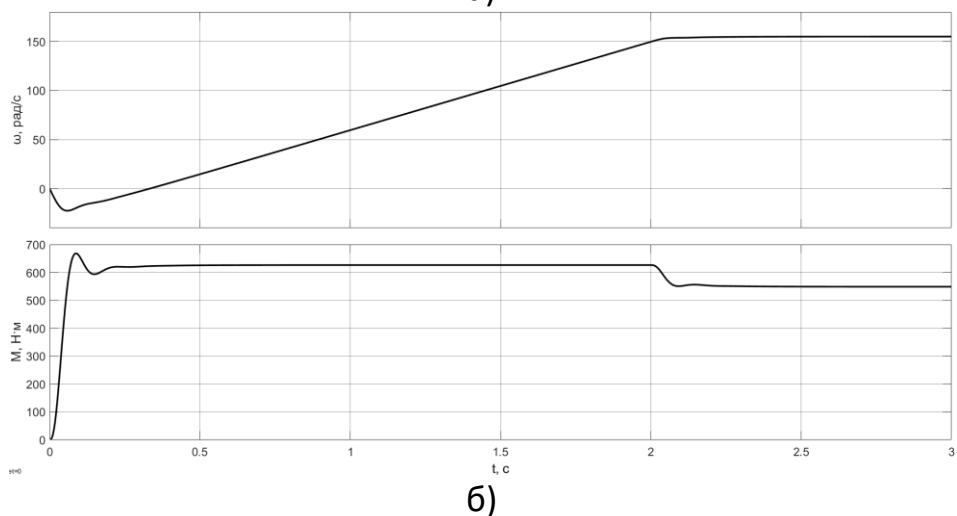
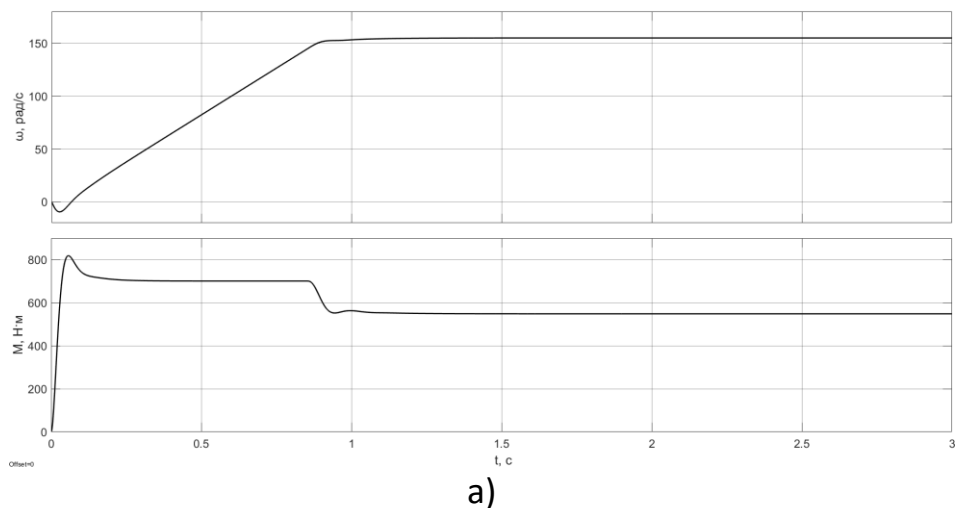


Рисунок 3 – Осциллограммы переходных процессов пуска электрического двигателя без (а) и при наличии (б) задатчика интенсивности

На рисунке 3, а видно, что при постоянной статической нагрузке 550 Нм и скачкообразном сигнале задания время разгона до номинальной скорости 1500 об/мин составляет примерно 1,1 с. Максимальное значение электромагнитного момента достигает значения 820 Нм. На участке разгона двигателя значение электромагнитного момента держится на уровне 700 Нм, после выхода на номинальную скорость вращения электромагнитный момент становится равным приложенному номинальному.

На рисунке 3, б видно, что при постоянной статической нагрузке 550 Нм и наличии задатчика интенсивности, настроенного на темп разгона примерно 2,2 с, максимальное значение электромагнитного момента достигает значения 670 Нм. На участке разгона двигателя значение электромагнитного момента держится на уровне 626 Нм, после выхода на номинальную скорость вращения электромагнитный момент становится равным приложенному номинальному.

Вывод. В целом, проведенный анализ показывает, что введение линейного ЗИ позволяет ограничить темп нарастания сигнала задания, и как следствие, снизить значения динамического момента. Увеличение времени разгона (уменьшение темпа ЗИ) приводит к пропорциональному снижению динамического тока и уменьшению механических напряжений в элементах привода. Выбор времени разгона является компромиссной задачей между допустимыми динамическими нагрузками на оборудование и требуемой производительностью электропривода.

Литература

- [1]. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
- [2]. Терехов В.М. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2008.
- [3]. Онищенко Г.Б. Электрический привод. – М.: РАСХН, 2003.
- [4]. Задатчики интенсивности. Аналоговые и цифровые задатчики интенсивности <https://vunivere.ru/work14536?screenshots=1>, Дата обращения: 02.03.2026

*М.А. Вавиленков, студ.; рук. С.П. Курилин, д.т.н.,
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОНИЖЕННОЙ КРАТНОСТЬЮ ПУСКОВОГО ТОКА

Асинхронные электрические двигатели с короткозамкнутым ротором являются наиболее распространённым типом электрических машин в промышленности. Их широкое распространение обусловлено высокой надежностью, простотой конструкции, сравнительно низкой стоимостью и удобством эксплуатации. Такие двигатели применяются в приводах насосов, вентиляторов, компрессоров, конвейеров и других технологических установок.

Одной из основных проблем эксплуатации асинхронных двигателей является высокая кратность пускового тока. В момент включения двигателя ток может превышать номинальное значение в несколько раз. Это приводит к падению напряжения в питающей сети, перегрузке коммутационной аппаратуры и повышенным тепловым нагрузкам на элементы электрической машины.

Особенно остро данная проблема проявляется для электродвигателей большой мощности от 300 кВт. При их запуске могут возникать значительные колебания напряжения в сети, что отрицательно влияет на работу других потребителей электроэнергии. Поэтому разработка конструктивных решений, направленных на снижение пускового тока асинхронных двигателей, является важной научно-технической задачей.

Существуют различные способы снижения пускового тока асинхронных двигателей. К ним относятся как схемные, так и конструктивные решения. Среди схемных способов можно выделить использование пусковых автотрансформаторов, тиристорных устройств плавного пуска и частотных преобразователей.

Однако применение внешних устройств пуска не всегда является экономически оправданным, особенно для электродвигателей средней мощности. В связи с этим значительный интерес представляют конструктивные методы улучшения пусковых характеристик.

К таким способам относятся использование двойной клетки ротора, применение глубоких пазов, а также модификация конструкции короткозамыкающих колец. Одним из перспективных направлений является использование ферромагнитных экранов, позволяющих усилить эффект вытеснения тока в проводниках ротора.

Задачей данного исследования является поиск и разработка конструкций короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя, направленных на снижение кратности пускового тока. Задача решалась методом математического моделирования.

В качестве объекта исследования был выбран асинхронный двигатель мощностью 30 кВт и частотой вращения 1500 об/мин. Для анализа электромагнитных процессов использовался программный пакет FEMM, основанный на методе конечных элементов.

Моделирование проводилось для торцевой области ротора, включая короткозамыкающее кольцо и прилегающие элементы конструкции. В расчетной модели задавались геометрические размеры элементов конструкции, а также электромагнитные свойства материалов, включая медь, алюминий, электротехническую сталь и конструкционную сталь.

Расчеты выполнялись для двух режимов работы двигателя: пускового режима при частоте тока 50 Гц и рабочего режима при частоте тока 1 Гц. Сравнение результатов моделирования для этих режимов позволяет оценить влияние эффекта вытеснения тока на электрические параметры ротора.

На первом этапе была построена модель базовой конструкции короткозамыкающего кольца. Расчеты показали, что коэффициент изменения

активного сопротивления составляет около 1.02, а коэффициент изменения индуктивности – около 0.96.

Далее были исследованы различные варианты модифицированных конструкций ротора. Основная идея модификаций заключалась в применении ферромагнитных экранов, размещенных на поверхности короткозамыкающих колец.

В ходе исследования на данный момент было рассмотрено более двадцати вариантов конструкций экранов. Они отличались размерами, формами, толщиной и расположением относительно поверхности кольца. Некоторые конструкции дополнительно включали медные вставки.

Наиболее эффективные конструкции обеспечили значительное увеличение активного сопротивления ротора в пусковом режиме. Для одного из вариантов коэффициент изменения активного сопротивления достиг значения более 17, конструкция представлена на рисунке 2 для 50 Гц.

Базовая конструкция короткозамыкающего кольца имеет прямоугольную форму размером 31x14 мм, выполненного из алюминиевого сплава, представлена на рис.1.

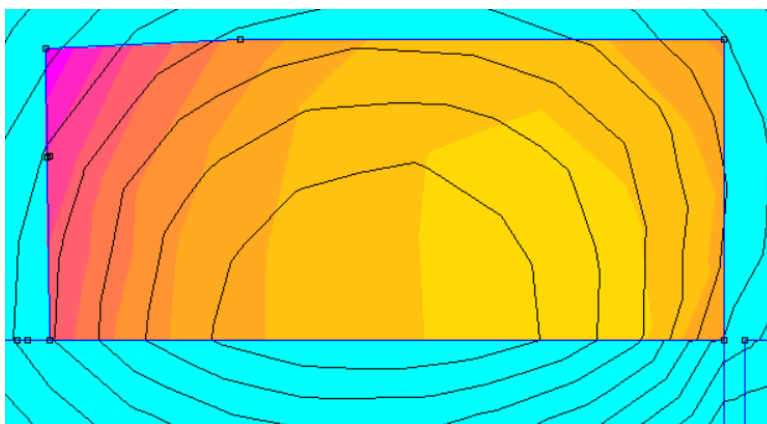


Рисунок 1 – Распределение плотности тока в базовой конструкции короткозамыкающего кольца в режиме пуска

Модифицированная конструкция короткозамыкающего кольца имеет трапециевидальную форму и включает в себя ферромагнитный экран толщиной 2 мм из конструкционной стали и медную накладку толщиной 1 мм на скошенной части трапеции, представлена на рис.2

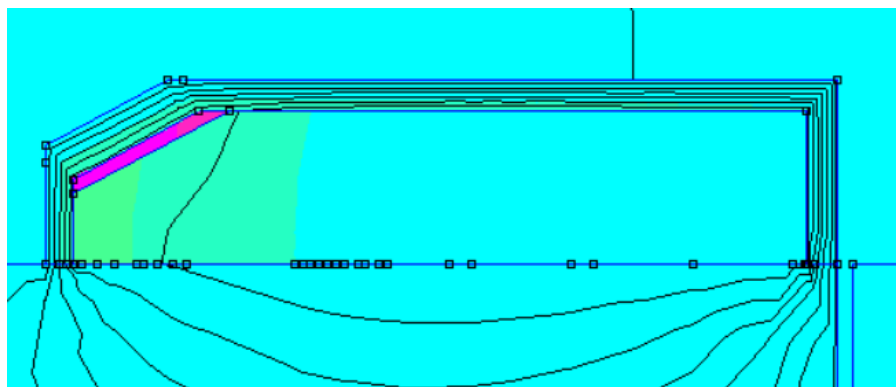


Рисунок 2 – Распределение плотности тока в модифицированной конструкции короткозамыкающего кольца в режиме пуска

Анализ результатов моделирования показал, что применение ферромагнитных экранов приводит к значительному перераспределению плотности тока в короткозамыкающем кольце. В пусковом режиме ток концентрируется в ограниченной области проводника, что приводит к увеличению активного сопротивления клетки ротора.

Увеличение активного сопротивления ротора в пусковом режиме способствует снижению пускового тока двигателя. При этом важно, чтобы конструктивные изменения не приводили к значительному ухудшению энергетических характеристик машины в номинальном режиме.

Полученные результаты показывают, что наиболее перспективными являются конструкции, обеспечивающие увеличение активного сопротивления в пусковом режиме в диапазоне 10-20 раз. Такие конструкции позволяют существенно снизить пусковой ток без значительного ухудшения коэффициента мощности и КПД двигателя.

В качестве заключения можно отметить следующее: в работе проведено исследование более 20 конструкций короткозамкнутого ротора асинхронного двигателя, направленных на снижение кратности пускового тока, разработана расчетная модель торцевой области ротора и выполнено моделирование различных вариантов конструкций короткозамыкающих колец.

Показано, что применение ферромагнитных экранов позволяет значительно увеличить активное сопротивление ротора в пусковом режиме.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке асинхронных электродвигателей с улучшенными пусковыми характеристиками.

Литература

- [1]. Копылов, И. П. Проектирование электрических машин: Учебник для бакалавров. 4-е изд. перераб. и доп./ И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев.– М.: Юрайт, 2016. - 767 с
- [2]. Буль, О. Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов: Магнитные цепи, поля и программа FEMM: Учебное пособие для студентов высших учебных заведений/ О. Б. Буль.– М.: Академия, 2005. - 336 с.
- [3]. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов/ А. И. Вольдек, В. В. Попов.– СПб.: Питер, 2008. - 350 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С НИЗКООМНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

В настоящее время в сетях 6-35 кВ все чаще используют низкоомное резистивное заземление нейтрали, в том числе на реконструируемых объектах [1]. Применение такого типа заземления имеет ряд преимуществ, в первую очередь за счет снижения перенапряжений и применение селективной защиты от однофазных замыканий на землю (ЗОЗЗ).

ЗОЗЗ является защитой с относительной селективностью, при наличии нескольких последовательно соединенных участков линии электропередачи (ЛЭП), разделенных распределительными пунктами (РП) или реклоузерами. В итоге выдержки времени у ЗОЗЗ могут быть больше 1 секунды. Пример такой сети с указанием выдержек времени представлен на рис. 1.

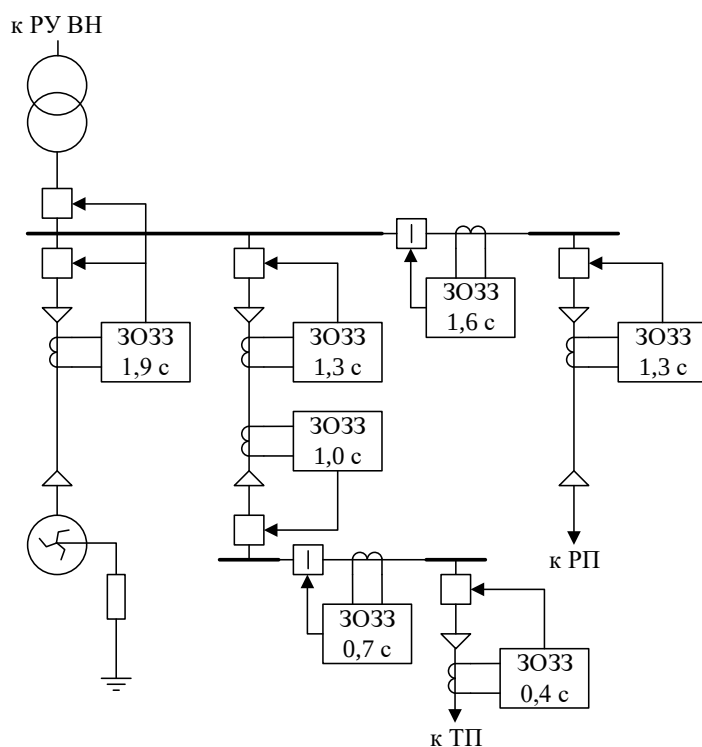


Рисунок 1 – Пример организации ЗОЗЗ в сети с низкоомным резистивным заземлением нейтрали

Несмотря на селективное отключение ОЗЗ, длительное протекание аварийного тока оказывает отрицательное воздействие на оборудование. Для снижения выдержек времени может быть организованы защиты абсолютной селективности с применением каналов передачи информации (К/С), что, однако, потребует значительных затрат при реализации дифференциальных защит. Для решения этой проблемы может быть предложена логическая защита (ЛЗ) [2]. В

простейшем исполнении для работы защиты достаточно сигналов пуска ЗОЗЗ ЛЭП. При таком исполнении ЛЗ на блокирующем сигнале (БС) может некорректно работать и обладает выдержкой времени на ожидание сигнала. Предлагается применение ЛЗ с комбинированным сигналом (рис. 2).

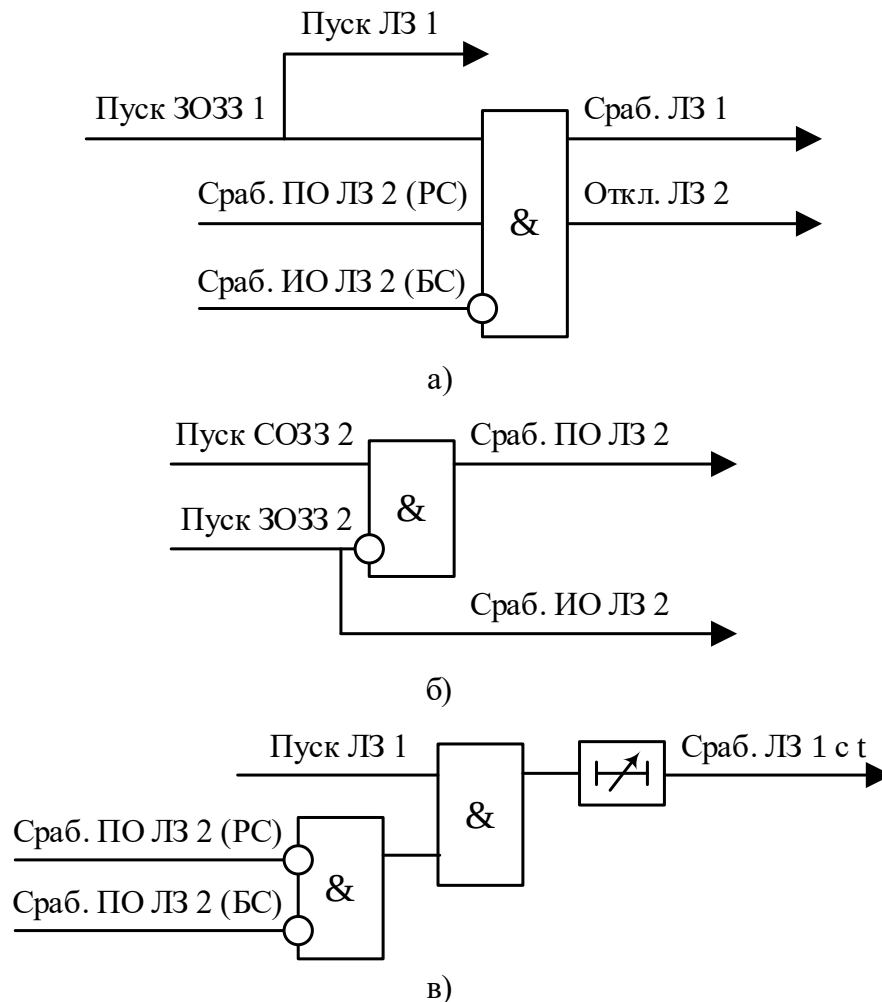


Рисунок 2 – Функционально-логическая схема ЛЗ: а – функция ЛЗ со стороны начала участка; б – со стороны конца; в – работа при отказе к/с

В качестве БС необходимо использовать сигнал пуска ЗОЗЗ, а в качестве разрешающего сигнала (РС) – сигнал пуска сигнализации однофазных замыканий на землю (СОЗЗ). При таком техническом решении неисправность к/с не приводит к необходимости вывода из работы ЛЗ. При комплексной организации ЛЗ в сети может быть применена логика, описанная в [3], позволяющая при отказе К/С или устройства РЗА (УРЗА) работать ЛЗ как на своем участке, так и на смежном – в зоне дальнего резервирования (рис. 3).

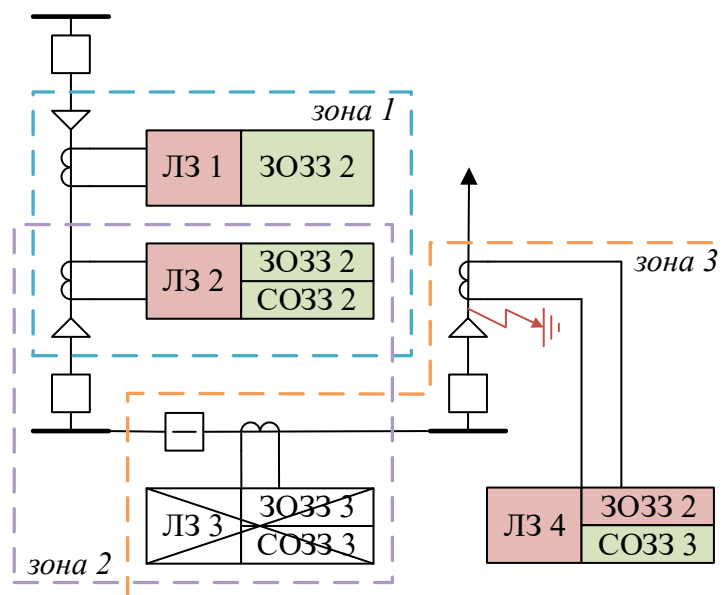


Рисунок 3 – Работа комплекса ЛЗ при неисправности ЛЗ 3

ОЗЗ между трансформатором тока и вводом кабеля входит в зону 3, ограниченную ЛЗ 3 и ЛЗ 4. ЛЗ 3 при получении РС от ЛЗ 4 должна сработать и отключить секционный выключатель (СВ) без выдержки времени.

При неисправности УРЗА СВ сигналы в вышестоящую защиту вводного выключателя (ВВ) не передаются, соответственно, ЛЗ 2 блокируется. При применении [3] по истечению выдержки времени, равной ступени селективности, ЛЗ 2 отключит ВВ.

Аналогичная ситуация будет происходить и при ОЗЗ в зоне 2. Таким образом, при неисправности К/С или УРЗА выдержка времени не превышает ступени селективности, что меньше указанных выдержек времени 1–2 с.

Применение логических защит является перспективным направлением для сетей с низкоомным резистивным заземлением нейтрали и высоким уровнем автоматизации. При создании или реконструкции сетей учет сниженных выдержек времени позволяет также снизить требования, касающиеся термической стойкости изоляции оборудования.

Литература

- [1]. Опыт реализации низкоомного резистивного заземления нейтрали в сети 6 кВ мегаполиса / Д. Б. Гвоздев, А. А. Королев, А. Н. Назарычев [и др.] // Электричество. 2025. № 7. С. 17-29.
- [2]. Журавлев И. А. Применение логической защиты линии с абсолютной селективностью от однофазных замыканий на землю в сети 20 кВ Г. Москвы // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов, Москва, 12–13 марта 2020 года. Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг "РАДУГА", 2020. С. 1060.
- [3]. Маруда И. Ф. Релейная защита двойной селективности. Логические защиты электрических объектов // Электричество. 2011. № 1. С. 17-25.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ЗАВИСИМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВРЕМЕНИ В СЕТЯХ 6-10 кВ

В распределительных сетях 6-10 кВ комплекс релейной защиты и автоматики (РЗА) состоит в основном из токовых защит с относительной селективностью. В соответствие с ПУЭ может быть применена также и дистанционная защита (ДЗ) [1].

Одной из проблем в электрических сетях 6-10 кВ являются режимы с реверсивным направлением мощности. В таких сетях применялись автоматические пункты секционирования, в составе которых имеется устройство РЗА (УРЗА). В таких сетях широко применялись МТЗ с зависимой выдержкой времени. В то же время были решения по применению дистанционных защит (ДЗ) с такой выдержкой времени – типа ДЗ-10 или КРЗА-С [2], имеющих линейно зависимую характеристику времени (ХВ), характеризующуюся коэффициентом наклона, и круговую характеристику срабатывания (ХС).

С учетом появления МП терминалов алгоритмы, используемые в дистанционных защитах с зависимой характеристикой времени, могут быть расширены. Для ДЗ типа ДЗ-10 и КРЗА-С могут быть выделены следующие ограничения:

- отстройка от нагрузочного режима по сопротивлению срабатывания;
- одинаковое сопротивление срабатывания ХС в обоих направлениях;
- одинаковый коэффициент наклона ХВ в обоих направлениях.

Применение круговой ХС для второй ступени приводило к необходимости учета нагрузочного режима в расчетных условиях. Для надежной отстройки от нагрузочных режимов могут быть применены другие виды ХС – эллиптические, треугольные и полигональные. Рекомендуется применение полигональной или треугольной характеристики срабатывания.

Ввиду необходимости согласовывать ДЗ с защитами, установленными в обоих направлениях от УРЗА, вместо одной ХС могут применяться две независимые характеристики. Для первой ступени рекомендуется применять круговые ХС со смещением в 1 и 3 квадранты. Для второй ступени рекомендуется применение двух треугольных или одной полигональной ХС с независимой настройкой границ характеристики в обоих направлениях.

Примеры исполнения цифровой ДЗ с зависимой характеристикой с учетом рассмотренных возможностей МП терминалов представлены ниже (рис. 1): исполнение с двумя направленными смещением ХС первой ступени (I.1 и I.2) и полигональной ХС второй ступени с зависимой характеристикой (II) (рис. 1, а) и исполнение с ненаправленной круговой ХС первой ступени (I) и треугольной ХС второй ступени с зависимой характеристикой (II) (рис. 1, б), индекс «.1» и «.2» означают прямонаправленные и обратнаправленные ХС или параметры срабатывания, соответственно.

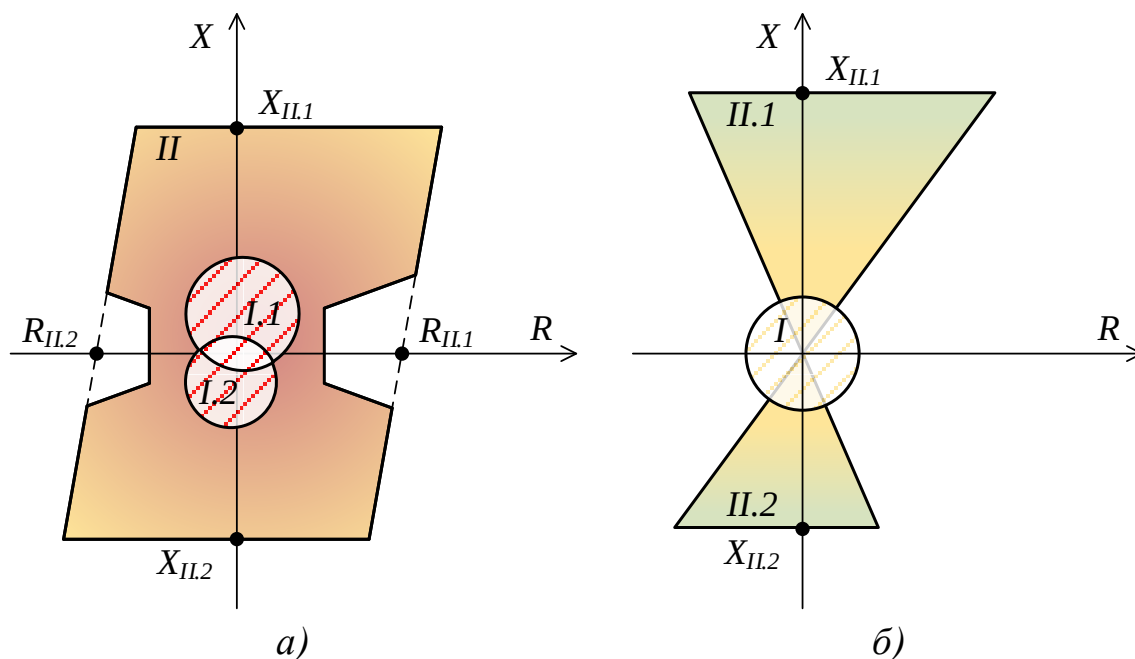


Рисунок 1 – Примеры исполнения характеристик срабатывания

При согласовании по времени со смежными защитами выбирается максимальный коэффициент наклона характеристики времени. Рекомендуется применять разные коэффициенты наклона для каждого направления. Сравнение применения одного коэффициента наклона и двух независимых представлено на рис. 2.

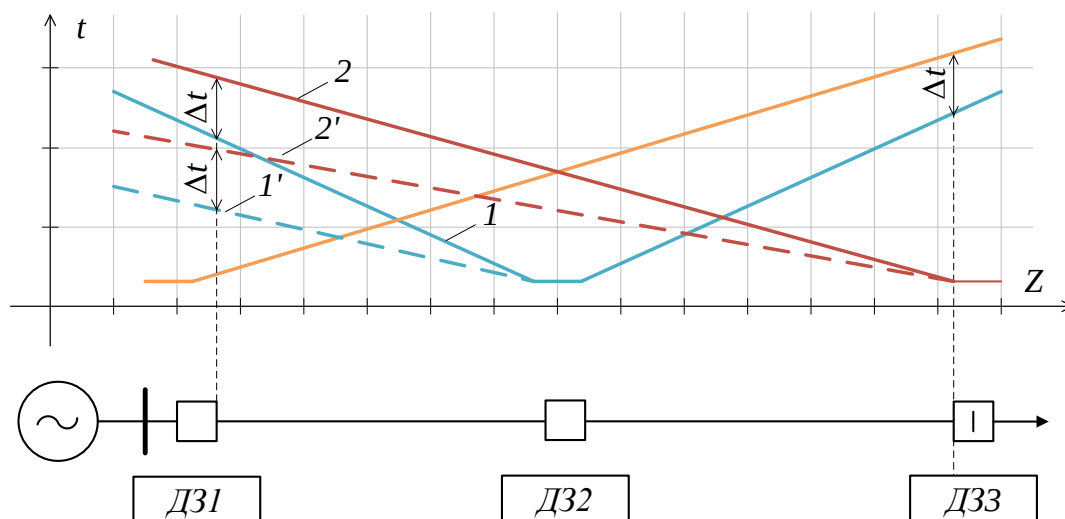


Рисунок 2 – Сравнение согласования характеристик времени ДЗ: 1, 2 – один коэффициент наклона; 1', 2' – два коэффициента наклона

Нерешенной остается проблема согласования ДЗ с зависимой ХВ с МТЗ с зависимыми характеристиками или плавкими предохранителями. Примеры согласования защит типа ДЗ-10 и КРЗА-С представлены в [3] и ниже (рис. 3).

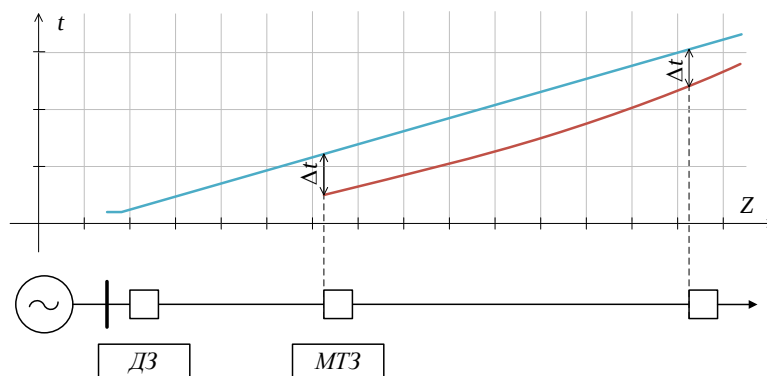


Рисунок 3 – Пример согласования ДЗ со смежной МТЗ с зависимыми временными характеристиками

Основной сложностью является перевод характеристик времени из осей $I-t$ в оси $Z-t$. Очевидно, что данные расчеты могут быть автоматизированы, однако, с учетом возможностей МП терминалов может быть рассмотрена работа ДЗ с ХВ по току.

Действительно, при пуске ХС второй ступени может быть использована характеристика времени, в том числе того же типа, что выбрана у смежных МТЗ. Согласование однотипных характеристик времени значительно проще и не требуется дополнительных пересчетов параметров, примеры такого согласования даны в [3, 4].

При согласовании однотипных ДЗ может быть введена ХВ с двумя наклонами. В данном случае рост выдержки времени будет начинаться с конца зоны предыдущей ступени, что снизит выдержки времени вдоль собственного участка и в зоне дальнего резервирования. Таким образом, время на собственном участке будет ниже, а согласование со смежным даст меньший коэффициент наклона ХВ. Сравнение применения характеристики времени с двумя наклонами с характеристикой защит типа ДЗ-10 или КРЗА-С представлено на рис. 4.

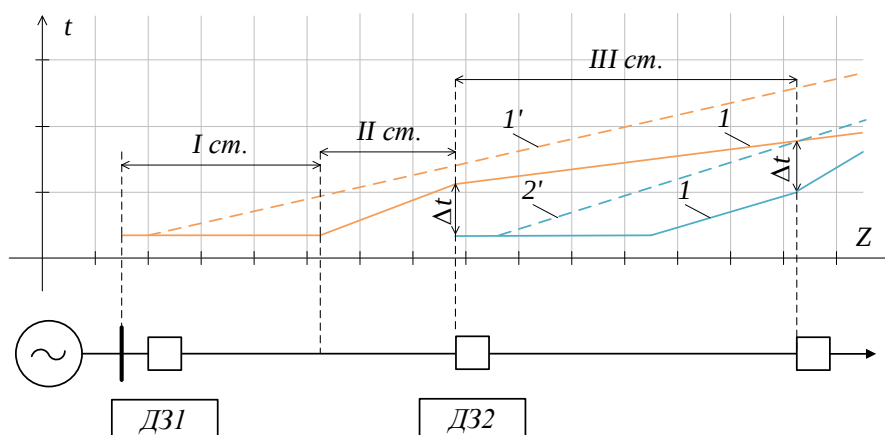


Рисунок 4 – Пример согласования однотипных ДЗ: 1, 2 – применение характеристики с двумя наклонами, 1', 2' – характеристика ДЗ-10 или КРЗА-С

Таким образом, применение цифровой ДЗ с зависимой характеристикой времени может быть актуальным в условиях «цифровизации» электрических сетей 6-10 кВ. С учетом имеющегося функционала переход от ЭМ и ПП исполнения к МП терминалам не вызывает трудности и улучшает функционирование комплекса РЗА в целом.

Литература

- [1]. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2013 г. М. : КноРус, 2013. 488 с. + CD-ROM. ISBN 978-5-406-02940-4.
- [2]. Шабад М. А. Защита и автоматика электрических сетей агропромышленных комплексов. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1987. 120 с.
- [3]. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. 296 с.
- [4]. СТО 56947007-29.120.70.305-2020. Методические указания для выбора параметров настройки и срабатывания МП устройств РЗА оборудования 6-35 кВ объектов ЕНЭС. Утверждён и введён в действие 15.05.2020

*М.О. Гайкалов, студ., Д. А. Шулакова, маг.; рук. В. Л. Максимкин, к. т. н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПИТАНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Развитие силовой полупроводниковой техники и широкое внедрение частотно-регулируемых электроприводов привели к существенному изменению условий работы машин переменного тока. В отличие от традиционного питания от промышленной сети, современные источники электрической энергии формируют несинусоидальные напряжения, содержащие высшие гармоники (ВГ). Это определяет необходимость анализа положительного и негативного влияния ВГ на статические и динамические характеристики синхронных двигателей (СД) и учет их воздействия на стадии проектирования машин.

Целью статьи является систематизация знаний о методах учета ВГ при проектировании синхронных машин (СМ), позволяющих минимизировать негативное влияние ВГ и использовать их положительные аспекты для улучшения характеристик машин.

Для достижения поставленной цели была определена основная задача - исследование влияния ВГ на работу СД, запитываемых от различных источников электрической энергии.

ВГ – это гармоники вращающегося магнитного поля машины, отличающиеся по амплитуде и частоте от основной гармоники. Их нечетный спектр присутствует в воздушном зазоре всех электрических машин, в отличие от четных гармоник, которые появляются при подмагничивании и несимметричной нагрузке. При проектировании электрических машин в первую очередь рассматривают ВГ с наибольшей амплитудой (ВГ с меньшим

порядковым номером и гармониками зубцового порядка) из-за их большего влияния на работу машины.

ВГ подразделяются на временные и пространственные, где первый вид обусловлен несинусоидальной формой питающего напряжения, нелинейным изменением момента нагрузки и температурой окружающей среды, а второй - конструктивными особенностями электрической машины [1].

В зависимости от места установки СД могут во время эксплуатации находиться в неподвижном состоянии (стационарная установка) или перемещаться (подвижная установка). При стационарной установке СД питается напрямую от электрической сети переменного тока. Такая схема подключения применяется в неподвижных системах энергетической (приводы насосов и компрессоров электростанций, синхронные компенсаторы, регулирующие реактивную мощность) и тяжёлой промышленности (компрессорные агрегаты, дробильные установки, прокатные станы). Главными достоинствами такого подключения является возможность регулирования реактивной мощности током возбуждения и относительно высокий КПД машины [2].

Подвижная установка чаще всего применяется в автономных системах транспортной промышленности (тяговые приводы электромобилей, электродвигатели электросамокатов, БПЛА). В качестве источника электрической энергии в таких электродвигателях используют аккумуляторные батареи. Преимущество таких машин заключается в компактности и малом весе конструкции.

По способу создания магнитного поля возбуждения СД классифицируют на двигатели с электромагнитным и магнитоэлектрическим возбуждением. Первый тип является классической конструкцией СД, в котором магнитное поле ротора создаётся обмоткой возбуждения, питаемой через щетки или бесщеточную систему постоянным током. Второй тип возбуждения характерен для СДПМ, в котором высококоэрцитивные магниты формируют основное магнитное поле [3]. В зависимости от стандартного или обращенного исполнения электродвигателя магниты размещают на статоре или на роторе соответственно.

Для минимизации негативного влияния ВГ в СМ стационарного и подвижного типов применяются комплексные конструктивные меры на этапе проектирования. Например, для уменьшения пульсаций электромагнитного момента, вызванных 5-й и 7-й гармониками, используют укорочение шага обмотки статора, а для сглаживания пространственных пульсаций магнитного поля предусматривают скос пазов статора на несколько зубцовых делений и скос или сегментация магнитов ротора. 3-ю гармонику, вызывающую дополнительные потери в меди, подавляют путем соединения трехфазной обмотки в звезду или треугольник. В дополнение к этому в СДПМ добавляют ферромагнитные полюсные наконечники для приближения к синусоидальной форме распределения магнитного потока [3].

Питание стационарных СД осуществляется трёхфазным переменным напряжением синусоидальной формы. При таком режиме питания магнитное

поле характеризуется высокой степенью симметрии, что способствует формированию практически постоянного электромагнитного момента.

Качество питающего напряжения напрямую влияет на надежность, КПД, срок службы машины и стабильность технологического процесса. На практике из-за повсеместного преобладания нелинейных нагрузок по всей системе электроснабжения высшие гармоники при питании напрямую от сети неизбежны. При этом коэффициент гармонического искажения обычно остается малым, порядка 5–8% (допустимое значение регламентируется ГОСТ 32144-2013), что позволяет двигателям работать в почти идеальных условиях. При необходимости уменьшения ВГ используют пассивные фильтры (рис. 1) [4].

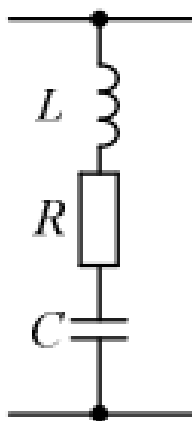


Рисунок 1 – Схема пассивного узкополосного фильтра.

ВГ вызывают дополнительные потери и небольшие пульсации электромагнитного момента под влиянием прежде всего 5-й и 7-й гармоник. Под влиянием 6-й, 12-й гармоник формируются паразитные электромагнитные моменты, которые являются причиной повышенного акустического шума и вибраций [1]. При наличии на роторе СД пусковой обмотки токи, индуцированные в ее контурах в динамических режимах работы, уменьшают амплитуды пульсаций этих моментов, частично компенсируя негативное влияние ВГ.

Питание подвижных СД обычно осуществляются с использованием метода широтно-импульсной модуляции (ШИМ), при котором силовой инвертор преобразует постоянное напряжение источника питания в последовательность импульсов переменной длительности (рис. 2). На обмотки статора за счёт изменения коэффициента заполнения импульсов подается напряжение, приближённое по форме к синусоидальному, с заданными амплитудой и частотой. Такой способ питания позволяет реализовать точное управление частотой вращения, электромагнитным моментом и динамическими характеристиками двигателя.

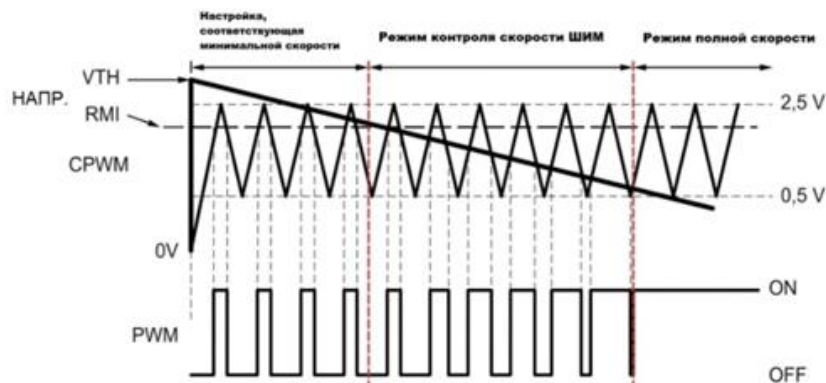


Рисунок 2 – Принцип управления двигателем СДПМ методом ШИМ

Ввиду импульсного процесса формирования напряжения появление ВГ при использовании ШИМ неизбежно. Искажение синусоидальной формы напряжения приводит к росту дополнительных электрических потерь, повышению температуры обмотки статора и локальным перегревам магнитов, что негативно сказывается на срок эксплуатации машины. Кроме того, увеличиваются колебательные составляющие электромагнитного момента, что особенно критично при эксплуатации в сферах, требующих высокую точность позиционирования.

Использование дополнительных фильтров для подавления высших гармоник в системах питания подвижных двигателей на практике ограничено. Это связано с тем, что одним из достоинств такого типа машин является их компактность, что практически исключает установку дополнительных индуктивных и ёмкостных элементов.

Несмотря на преимущественно негативное воздействие ВГ, в некоторых случаях они могут оказывать и позитивное влияние. В классических СД 7-я, 13-я, 19-я гармоники создают вращающееся магнитное поле в направлении основной частоты, что способствует небольшому увеличению среднего момента [2]. В конструкциях с постоянными магнитами для активного подавления пульсаций момента 6-го и 12-го порядка широко используется метод введения гармоник тока, при котором дополнительно намеренно вводят 5-ю, 7-ю ВГ в качестве компенсации и сглаживания нежелательных частот [3]. Таким образом, ВГ могут стать дополнительным инструментом в оптимизации характеристик СМ.

Характер и степень влияния высших гармоник на синхронные двигатели переменного тока существенно зависят от их конструкции и используемого источника питания. В случае применения преобразователей частоты и автономных инверторов, вызывающих заметные гармонические искажения, негативное влияние в виде дополнительных потерь, роста вибраций, нагрева неизбежно, особенно в СД с постоянными магнитами, которые более чувствительны к спектру высших гармоник.

В зависимости от поставленной задачи проектирования предварительно необходимо оценить потребность в минимизации влияния ВГ. Использование гармоник, создающих вращающееся магнитное поле в направлении основной частоты, в разработке СД с требованием повышения электромагнитного момента, является одним из способов решения данной задачи. В случае проектирования машины с увеличенным КПД такие гармоники, напротив, не подходят для достижения заданной цели ввиду появления дополнительных потерь.

Таким образом, современные представления о поведении СМ в условиях синусоидального и несинусоидального питания закладывают концептуальную основу для дальнейших исследований, направленных на разработку новых методов по оптимизации конструкций в сферах различного назначения.

Литература

- [1]. Копылов И.П. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов. – Высшая школа, 2001.
- [2]. Копылов И. П. Проектирование электрических машин. – Общество с ограниченной ответственностью Издательство ЮРАЙТ, 2016.
- [3]. Балагуров В. А., Галтеев Ф. Ф., Ларионов А. Н. Электрические машины с постоянными магнитами. – Энергия, 1964.
- [4]. Боярская Н. П. и др. Широкополосные силовые фильтры гармоник //Ползуновский вестник. – 2013. – №. 4-2. – С. 34-38.

*В.В. Давыдов, студ.; В.О. Захаров, асп.; рук. Е.С. Андреенков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЁТОМ ИТ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Переход к концепции цифровых подстанций (ЦПС) является одним из ключевых трендов развития мировой электроэнергетики. Внедрение стандарта МЭК 61850, замена традиционных кабельных связей на сети из оптоволоконна и использование интеллектуальных электронных устройств (IED) призваны повысить эффективность управления и экономичность эксплуатации. Тем не менее, вопросы оценки надёжности таких объектов до сих пор остаются дискуссионными.

Переход к цифровой инфраструктуре несет в себе не только преимущества, но и новые риски. Если надёжность силового оборудования (трансформаторов, выключателей) изучена достаточно хорошо и описана классическими методами, то влияние ИТ-инфраструктуры на общую функциональную надёжность подстанции часто недооценивается. Структура этих объектов представлена на рис. 1. Сложные программно-аппаратные комплексы, коммуникационные сети, кибербезопасность и зависимость от качества электропитания самих устройств автоматизации вносят существенный вклад в результирующую надёжность технологического процесса. Отказ коммутатора Ethernet или сбой в работе ПО

пускового органа могут привести к последствиям, сопоставимым с отказом высоковольтного ввода [1]. Цель работы проанализировать влияние ИТ инфраструктуры на расчёт показателей надёжности ПС.

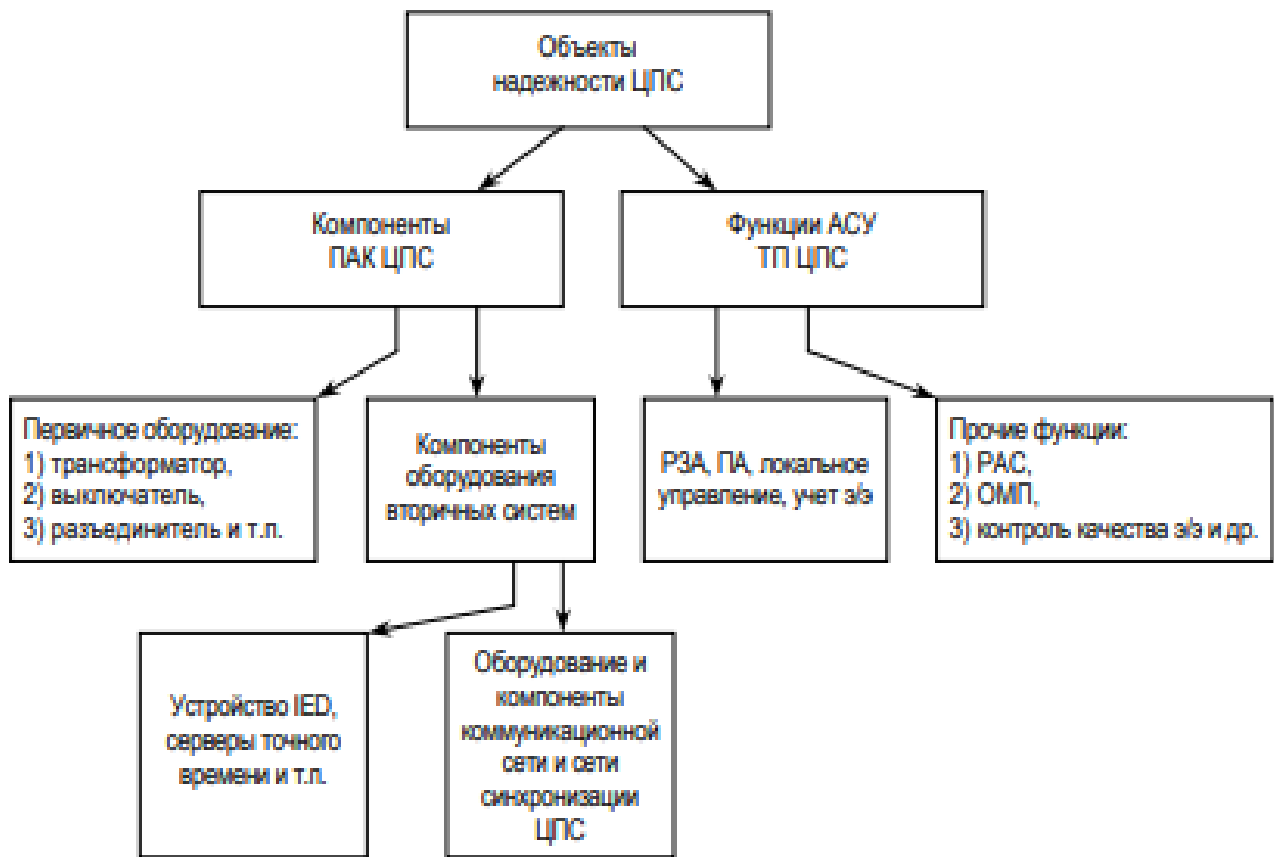


Рисунок 1 – Структура объектов надёжности ЦПС

Наиболее часто используемым количественным показателем безотказности служит вероятность безотказной работы R . Данная величина отражает вероятность того, что в течение заданного интервала времени или наработки отказ рассматриваемого элемента не наступит. В традиционной постановке задач надёжности для электроэнергетических систем принимают экспоненциальную модель распределения отказов во времени [2]. В этом случае вероятность безотказной работы R для интервала времени t вычисляется по формуле:

$$R = e^{-\lambda \cdot t}, \quad (1)$$

где λ – интенсивность отказов, $1/\text{ч}$; t – заданный интервал времени, ч.

Дополнительным параметром является вероятность отказа Q , показывающая, с какой вероятностью объект откажет хотя бы однократно на интервале t :

$$Q = R - 1, \quad (2)$$

Средняя наработка до отказа T (ч) представляет собой математическое ожидание времени работы объекта от начала эксплуатации (или после восстановления) до первого отказа и определяется как обратная величина интенсивности отказов:

$$T = \frac{1}{\lambda}, (3)$$

Для систем, состоящих из нескольких элементов, результирующая вероятность безотказной работы зависит от способа их соединения. При параллельном соединении двух элементов вероятность безотказной работы такого блока вычисляется через вероятность отказа каждого из них:

$$R_{\text{блока\_пар}} = 1 - Q_1 \cdot Q_2 (4)$$

При последовательном соединении двух элементов надёжность блока равна произведению вероятностей безотказной работы составляющих его компонентов:

$$R_{\text{блока\_посл}} = R_1 \cdot R_2 (5)$$

В качестве объекта для исследования выбрана типовая схема распределительного устройства 220 кВ, представленная на рис. 2. Все элементы здесь объединены цифровой сетью, построенной на базе волоконно-оптических линий. Мгновенные значения токов и напряжения оцифровываются в устройствах сопряжения с шиной процесса (УСШ) и передаются по протоколу Sampled Values. Дискретные сигналы между терминалами релейной защиты, устройствами управления выключателями, регистраторами, приборами учёта и контроля качества электроэнергии передаются по протоколу GOOSE [3]. Управление режимами работы ЦПС выполняется дистанционно: команды на коммутационные аппараты (КА) подаются с автоматизированного рабочего места (АРМ) оперативного персонала или от диспетчерского центра. Таким образом, телекоммуникационная среда ЦПС, построенная на базе интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) и волоконно-оптических линий связи (ВОЛС), превращает традиционные функции подстанции в виртуализированные сервисы. При этом все измерительные компоненты выступают в роли источников цифровой информации, а ИЭУ – её получателями и обработчиками. При оценке надёжности ЦПС, в отличие от подстанций классического исполнения, необходимо учитывать существенно большее число влияющих факторов, таких как работоспособность устройств сопряжения с шиной процесса, параметров линии связи, надёжности сетевых коммутаторов, корректности функционирования терминалов РЗА и стабильность работы программного обеспечения на автоматизированном рабочем месте оператора.

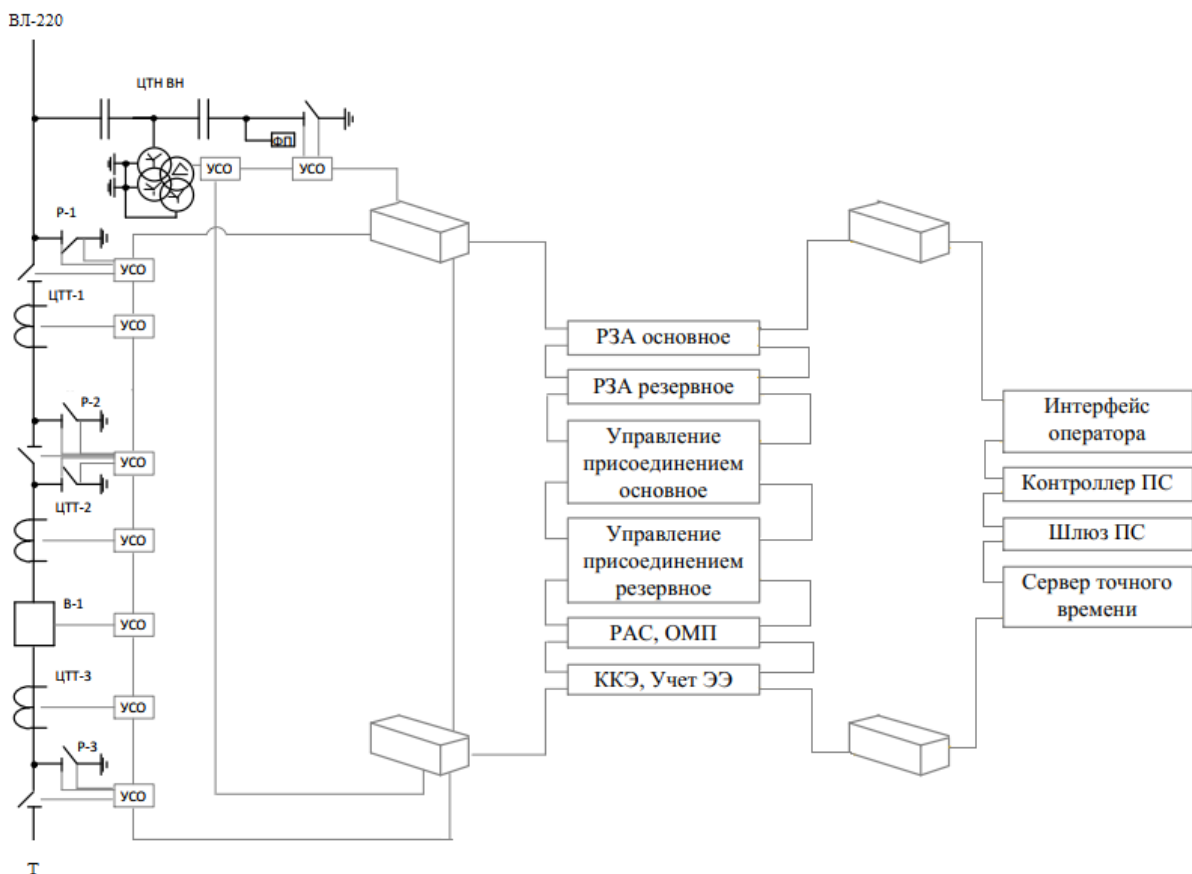


Рисунок 2 – Типовая схема РУ 220кВ ЦПС

На рис. 3 представлены схемы замещения для расчёта. Интервал времени t принят равным 2190 часов, что обусловлено периодичностью технического обслуживания ИТ-оборудования. Расчёты производились по формулам (1)-(5) а результаты сведены в таблице 1.

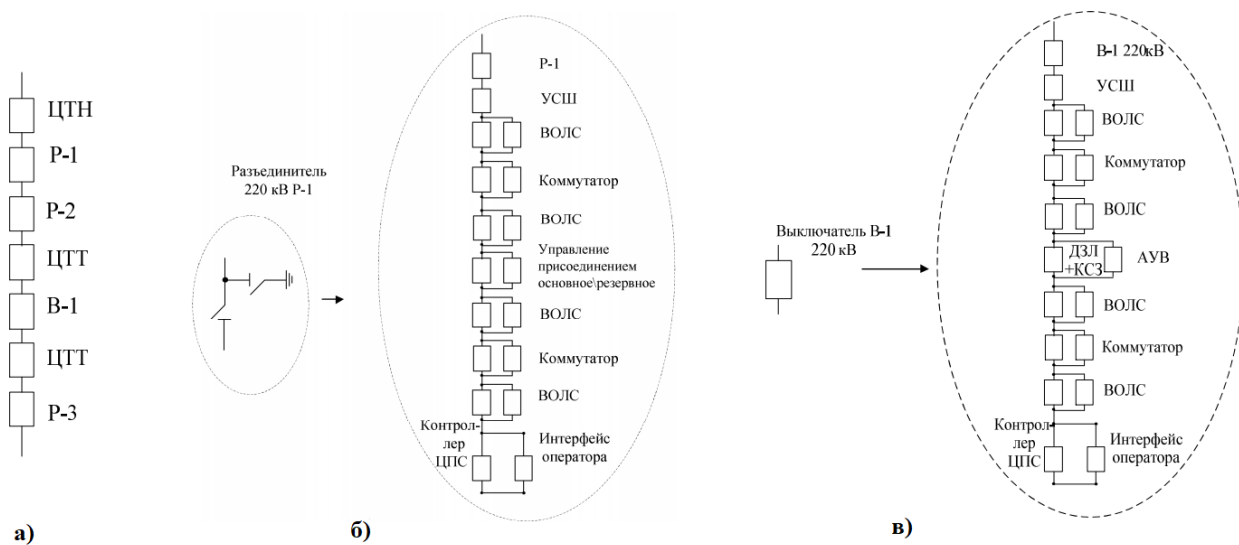


Рисунок 3 – Схемы замещения по надежности: а) РУ 220кВ; б – блок разъединителя; в – блок выключателя

Таблица 1 – Показатели надёжности элементов

Обозначение блока на рис. 3		Наименование оборудования, производитель	Время наработки на отказ T , ч	Интенсивность отказов λ , 1/ч	Вероятность безотказной работы R
Р-1 (Р-2, Р-3)		Разъединитель (GW22-252)	120000	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,982
В-1		Выключатель (LW36-252)	80000	$1,25 \cdot 10^{-5}$	0,973
УСШ		Терминал (БЭМП РУ)	120000	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,982
ВОЛС	$L_1=20\text{м}$	Линия ВОЛС на 1 км	-	$3,5 \cdot 10^{-7}$	0,999
	$L_2=15\text{м}$				
	Блок ВОЛС целиком				
Коммутатор		Коммутатор (SICOM3024)	300000	$3,3 \cdot 10^{-6}$	0,999
Блок управления	АРМ (интерфейс) оператора		90000	$1,1 \cdot 10^{-5}$	0,999
	Контроллер ПС (ARIS-2808)		100000	$1,0 \cdot 10^{-5}$	
ЦТТ		Цифровой трансформатор тока (ТТЭО-220)	120000	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,982
ЦТН		Цифровой трансформатор напряжения (ДНЭЭ-220)	120000	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,982

Из результатов таблицы 1, для блока разъединителя итоговая надёжность составит:

$$R_p = 0,982 \cdot 0,982 \cdot 0,999^8 = 0,956$$

Для блока выключателя надёжность равна:

$$R_B = 0,973 \cdot 0,982 \cdot 0,999^8 = 0,948$$

Результирующая величина вероятности безотказной работы для РУ 220кВ:

$$R_{РУ220кВ} = R_{ЦТН} \cdot R_{Р-1} \cdot R_{Р-2} \cdot R_{ЦТТ} \cdot R_B \cdot R_{ЦТТ} \cdot R_{Р-3} = 0,982^3 \cdot 0,956^3 \cdot 0,948 = 0,784$$

Согласно [4], вероятность безотказной работы R должна стремиться к 0,996, что считается показателем высокой надежности. Однако расчетное значение R для РУ 220кВ ЦПС составило всего 0,784, что значительно ниже рекомендуемого уровня и уступает показателям традиционных подстанций.

Низкая надежность при таком подходе обусловлена тремя основными факторами:

1. Большим количеством элементов вторичных цепей.
2. Уязвимость элементной базы. В частности, наименьшей надёжностью в структуре обладают цифровые измерительные трансформаторы, а также устройства сопряжения с шиной процесса (УСШ).
3. Конструктивное отсутствие резерва. Ряд позиций, включая силовое оборудование и ключевые элементы цифровой обработки сигнала (УСШ, цифровые ТТ и ТН), работают в единичном экземпляре, что создает точки полного отказа всей системы.

Применение традиционных методов расчёта, основанных на суммировании интенсивностей отказов, приводит к формальному снижению показателей надёжности цифровых подстанций. Добиться повышения надежности можно сейчас резервированием наиболее уязвимых элементов, а в долгосрочной перспективе определяющим фактором станет реакция производителей: накопленный опыт эксплуатации и стремительная цифровизация отрасли сформируют более жесткие требования к аппаратной части, что неизбежно приведет к росту ее надежности. Однако такой подход всё равно не учитывает функциональную избыточность, архитектурное резервирование, сокращение времени восстановления, уменьшение количества механических контактов, улучшение диагностики и снижения времени восстановления, что требует разработки альтернативных методик оценки оборудования ЦПС.

Литература

- [1]. Архитектура и управление в цифровой энергетике / Кафедра электроснабжения ЮЗГУ – Курск, 2019. – 56 с.
- [2]. Китушин, В.Г. Надежность энергетических систем / В.Г. Китушин. – М.: Высш. шк., 1984. – 256 с.
- [3] СТО 56947007 - 25.040.30.309-2020. Корпоративный профиль МЭК 61850. Утвержден и введен в действие приказом ПАО «ФСК ЕЭС» / ПАО «Россети» от 05.10.2020 № 335/458
- [4] Методика оценки схемно-технической надежности технологических электрических сетей ОАО «РЖД» и электрических сетей внешнего электроснабжения для синхронизации инвестиционных программ ОАО «РЖД», ОАО «ФСК ЕЭС» и «Холдинг МРСК» // Отчет ЗАО ПФК «Скат». – М., 2012. – 108 с

ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ

Повсеместное использование электрооборудования – основа современной реальности. Оно получило широкое применение практически во всех сферах деятельности человека: быт, транспорт, промышленность, строительство, энергетика и т.д. В связи с устойчивым ростом электропотребления и уверенным расширением рынка электрооборудования ключевым вопросом становится повышение надежности работы электроустановок посредством комплексной диагностики. Своевременный контроль состояния электрических машин позволяет:

- обнаружить дефекты оборудования на ранних стадиях;
- предотвратить аварийные ситуации, простой работы электроустановок;
- продлить срок службы оборудования;
- повысить безопасность персонала;
- снизить затраты (на ремонт/замену оборудования, избежать убытков от простоя работы);
- спрогнозировать на ближайшее время состояние и/или запланировать ремонт оборудования.

В настоящее время в сфере диагностики оборудования действует тенденция перехода от системы планово-предупредительных работ к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования, т.е. ремонт будет проводиться при реальной необходимости, а не по системе плановых работ. Эти изменения влекут за собой внедрение различных методов диагностики. Некоторые из них были рассмотрены ранее в статье [1]: измерение сопротивления изоляции, диагностика частичных разрядов, испытание повышенным напряжением и др. В ходе работы были выявлены следующие минусы изученных методов:

- необходимость установки датчиков;
- отключение оборудования от сети питания, простой работы;
- сложность в интерпретации данных.

Для минимизации этих недостатков и сокращения убытков от простоя работы и закупки дорогостоящих датчиков, широкое распространение получают бесконтактные методы диагностики оборудования. Они исключают контакт персонала с токоведущими частями машин, обеспечивая тем самым безопасность оператора, но при этом дают точную и оперативную информацию о состоянии объекта.

К числу бесконтактных относится тепловизионный метод контроля, занимающий важное место в сфере современной диагностики. Это высокоэффективный способ, позволяющий выявить на ранних стадиях дефекты элементов конструкции и в полной мере оценить и/или прогнозировать на ближайшее время состояние электрооборудования.

В данной статье рассмотрены особенности проведения тепловизионного контроля электрооборудования (далее – ТК), преимущества и недостатки данного метода диагностики, а также влияние внешних факторов на результаты данных ТК.

ТК представляет собой дистанционную регистрацию температурного поля поверхности исследуемого объекта с помощью приборов для бесконтактного измерения температуры. Далее, исходя из анализа полученных термограмм, составляется отчет с фиксацией выявленных дефектов, степенью их неисправности, рекомендацией о дальнейшей эксплуатации оборудования и прогнозами о состоянии оборудования на ближайшее время [2]. Показателем наличия повреждений оборудования на термограмме является аномальное изменение температуры в зоне дефекта по сравнению с нормально работающими областями (рис. 1).

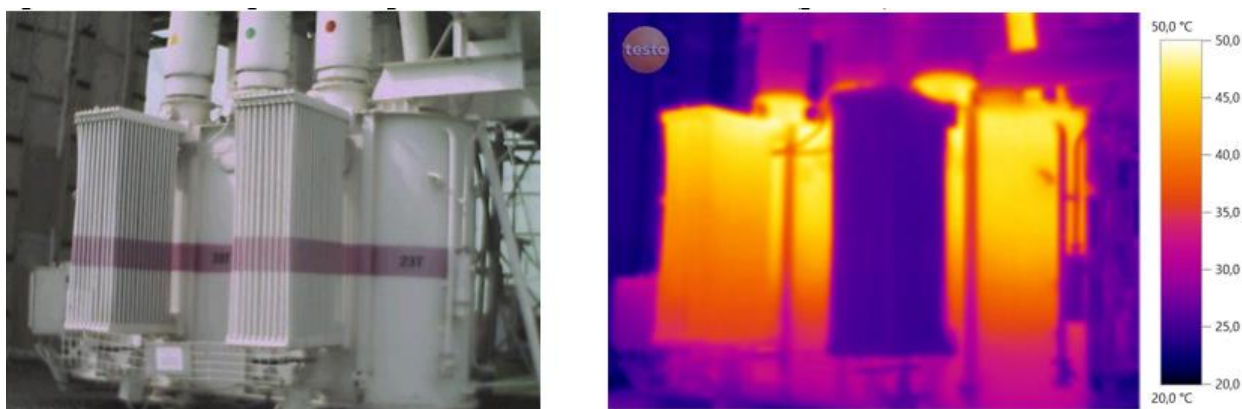


Рисунок 1 – Термограмма трансформатора с дефектным радиатором

К приборам бесконтактного измерения температуры, применяемых в ТК, относятся:

- пирометр – измеряет температуру в одной точке исследуемого объекта;
- тепловизор – наиболее часто используется в ТК, показывает полную тепловую картину исследуемого объекта (термограмму). В диагностике применяются тепловизоры с разрешающей способностью не хуже $0,1^\circ$ и со спектральным диапазоном предпочтительно 8-12 мкм.

Механизм работы данных приборов основан на способности улавливать ИК-излучение исследуемых объектов и определять их температуру [3]. В ходе проведения ТК оценка теплового состояния оборудования осуществляется по следующим параметрам:

- превышение температуры – разность между измеренной температурой нагрева и температурой окружающей среды;
- избыточная температура – превышение измеренной температуры контролируемого узла над температурой аналогичных узлов других фаз, находящихся в одинаковых условиях;
- коэффициент дефектности – отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры,

измеренному на целом участке провода, отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м [4].

Объектами исследования ТК являются различные виды электрооборудования: синхронные генераторы, электродвигатели АС/DC тока, силовые трансформаторы, трансформаторы тока/напряжения, выключатели, конденсаторы, предохранители и др.

Посредством тепловизионной диагностики электрооборудования можно выявить следующие неисправности [5]:

- нарушения в работе систем охлаждения (фильтры, вентиляторы и т.д.);
- нагревы внутренних контактных соединений;
- неисправности подшипников;
- перегрев обмоток и магнитопровода статора;
- пробой изоляции;
- нарушение циркуляции масла в трансформаторе и др.

На основании вышеперечисленных фактов можно сделать выводы о преимуществах и недостатках ТК. К достоинствам ТК относятся:

- бесконтактность/дистанционность метода;
- не требуется отключение электрооборудования от сети;
- выявление дефектов на ранней стадии;
- возможность классификации степени неисправности дефекта;
- безопасность персонала;
- информативность и высокая скорость исследования;
- малые трудозатраты на проведение измерений.

Недостатки ТК:

- высокая стоимость измерительных приборов;
- зависимость результатов измерений от внешних факторов;
- нагрузка исследуемого электрооборудования не менее 30% от $I_{ном}$.

Существенным минусом ТК является сильная зависимость результатов исследования от внешних факторов. При несоблюдении условий проведения ТК велика вероятность погрешности в измерениях и получения недостоверной информации о состоянии электрооборудования. Подробнее ознакомимся с факторами, влияющими на результаты исследований ТК [6].

1. Излучательная способность материала

Коэффициент излучения ($K_{из}$) определяет способность материала излучать тепловую энергию в инфракрасном диапазоне. Чем выше $K_{из}$ ($\approx 0,9 \div 1,0$), тем точнее прибор фиксирует собственную температуру материала, а не отраженную тепловую энергию. Значение коэффициента зависит от температуры, угла обзора, длины волны и состояния поверхности металла.

- с ростом температуры коэффициент излучения обычно увеличивается;
- при диапазоне угла обзора 0° - 40° для металлов и 0° - 60° . – для диэлектриков $K_{из}$ материала постоянен. При наблюдении объекта по касательной к поверхности $K_{из}$ уменьшается, что вызывает погрешности в результатах ТК;
- т.к. электрооборудование включает в себя разнородные материалы с разными $K_{из}$, при ТК может возникнуть заблуждение о перегреве отдельных

компонентов установки. Для этого необходимо дополнительно оценить параметры «перегретого» участка – состояние поверхности, $K_{из}$, характер работ, проводимых на данном участке.

2. Солнечная радиация

Солнечные лучи нагревают поверхность объекта, искажая реальную тепловую картину оборудования (рис. 2). Особенно подвержены влиянию этого фактора результаты ТК материалов с высокой излучательной способностью. Для ликвидации погрешностей от действия солнечной радиации ТК следует проводить в пасмурную погоду или темное время суток. Причем в летнее время следует начинать ТК не сразу после захода солнца, а спустя 1-2 часа для уменьшения нагрева оборудования в местах контакта с солнечными лучами.

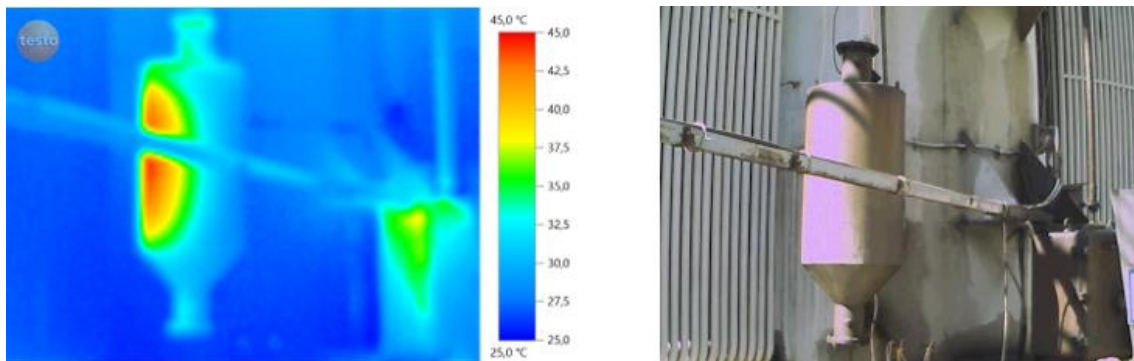


Рисунок 1 – Влияние солнечной радиации на нагрев электрооборудования (в месте контакта объекта с солнечными лучами зафиксировано превышение среднего значения температуры поверхности установки более чем на 15°C)

3. Ветер

Сильный ветер способен охлаждать поверхность электрооборудования, что не позволяет обнаружить дефекты оборудования на ранней стадии. Влияние скорости ветра на значение превышения температуры можно оценить по формуле (формула справедлива для скорости ветра 1-7 м/с):

$$\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} = \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448}$$

Пусть превышение температуры (ΔT_1) при скорости ветра 1 м/с (V_1) составляет 10°C. Определим, сколько составит превышение температуры (ΔT_2) при увеличении скорости ветра до 7 м/с (V_2).

$$\Delta T_2 = \Delta T_1 \cdot \left| \frac{V_1}{V_2} \right|^{0,448} = 10 \cdot \left| \frac{1}{7} \right|^{0,448} \approx 4,2^\circ\text{C}$$

Итак, значение превышения температуры уменьшилось более чем в 2 раза.

В связи с этим, ТК рекомендуется проводить в безветренную погоду. Не следует проводить тепловизионную диагностику, если скорость ветра превышает 8 м/с.

4. Нагрузка

Температура токоведущей части электрооборудования зависит от нагрузки:

$$\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \left| \frac{I_1}{I_2} \right|^2.$$

Для обнаружения дефектов на ранней стадии ТК необходимо проводить при нагрузке не менее 30% от $I_{ном}$, т.к. при меньших значениях повышение температуры недостаточно для получения точной информации из термограмм.

Исходя из вышеперечисленного следует, что ТК необходимо проводить в штиль, в пасмурную погоду или ночное время суток, при нагрузке не менее 30% от $I_{ном}$, учитывая дальность и угол обзора исследуемого оборудования.

Таким образом, ТК является высокоэффективным методом диагностики, обладающим рядом преимуществ: точностью, информативностью, дистанционностью, оперативностью. Благодаря бесконтактному контролю исследуемого объекта, ТК становится незаменим в диагностике оборудования, работающего под напряжением, тем самым составляя конкуренцию традиционным методам диагностики. Однако, следует учитывать факторы, влекущие за собой погрешность в результатах ТК, и проводить диагностику оборудования только в подходящих для этого условиях.

Литература

- [1]. Современные методы контроля состояния статорной изоляции электрических машин / А.Д. Добренкова, М.А. Кисляков // XXII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов, Сборник трудов, Том 1, 23-24 апреля 2025 г. С. 113-117.
- [2]. Тепловизионный контроль и диагностика электрооборудования / О.Н. Будадин, С.А. Бажанов, В.И. Зуев, О.С. Круторов, Р.Т. Троицкий-Марков, М.И. Щербаков // Журнал «Энергослужба предприятия», №4 2003 г.
- [3]. Тепловизионная диагностика электроэнергетического оборудования: учебное пособие / Е.Е. Привалов // Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2015.
- [4]. «Объемы и нормы испытаний электрооборудования. РД 34.45-51.300-97» Шестое издание (утв. ОАО РАО «ЕЭС России» 08.05.1997) // https://www.ti-ees.ru/fileadmin/f/activity/laws/rd_3445-51300-97.pdf (Дата обращения: 01.03.2026 г.).
- [5]. Методы и средства диагностики высоковольтного оборудования: учеб. пособие / В. А. Шахнин; Владим. гос. ун-т им. А.Г. и Н.Г. Столетовых. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 99 с. – ISBN 978-5-9984-0868-7.
- [6]. Основные положения методики инфракрасной диагностики электрооборудования и ВЛ РД 153-34.0-20.363-99 Дата введения: 01.06.2000 г.

СНАББЕРНЫЕ ЦЕПИ В СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ

Современная силовая электроника очень тесно связана с развитием регулируемого электропривода. В этой области широко применяются силовые ключи, работающие на высоких частотах и больших токах. Наличие таких режимов работы, а также паразитных реактивных параметров приводит к возникновению опасных перенапряжений, способных пробить силовые элементы, что обуславливает актуальность анализа вариантов защиты от пробоев. Для устранения негативных эффектов применяются локальные фильтры-ограничители – снабберы.

Целью данной работы является исследование физических принципов работы снабберных цепей в силовой электронике, анализ их разновидностей и ознакомление с практической методикой расчета RCD-снаббера для мощного IGBT-ключа.

1. Физика возникновения коммутационных перенапряжений

Основной причиной перенапряжений в силовых ключах являются большие скорости переключения силовых элементов, а именно большие значения производных тока и напряжения по времени $\left(\frac{di}{dt}, \frac{du}{dt}\right)$. Любой реальный проводник имеет паразитную индуктивность L , которая накапливает энергию магнитного поля W при протекании тока I : $W = \frac{1}{2} LI^2$.

Рассмотрим процесс запираания транзистора, работающего на активно-индуктивную нагрузку (характерный случай для обмотки двигателя). В установившемся открытом состоянии через транзистор течет ток нагрузки, а в момент запираания ток начнет резко уменьшаться с высокой скоростью. В этот момент паразитная индуктивность L будет противодействовать этому изменению, создавая ЭДС самоиндукции E , направление которой будет совпадать с убывающим током. Эту ЭДС можно рассчитать по закону Фарадея: $E = L \cdot \left|\frac{di}{dt}\right|$. Это напряжение складывается с напряжением питания, создавая опасный выброс результирующего напряжения на коллекторе силового элемента.

После того, как мы рассмотрели процесс запираания транзистора, необходимо обратить внимание на процесс его открытия, т.к. в ходе данного процесса напряжение на диоде меняет полярность, и он должен закрыться. В результате ток обратного восстановления резко обрывается. Это значит, что закрытие диода также приводит к взаимодействию с паразитной индуктивностью L , а это, в свою очередь, приводит к очередному выбросу напряжения.

Помимо однократных выбросов, паразитная индуктивность и выходная емкость транзистора или емкость диода образуют последовательный LC-контур.

Резкое изменение тока порождает в этом контуре затухающие колебания высокой частоты. Их частоту можно определить по формуле $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$. Эти колебания являются мощным источником электромагнитных помех и дополнительных потерь.

2. Классификация и принцип работы снабберных цепей

2.1. C-снабберы

Простейшим типом снаббера является единичный конденсатор, подключенный параллельно силовому ключу, обычно между коллектором и эмиттером IGBT или стоком и истоком MOSFET (см. рис.1(а)).

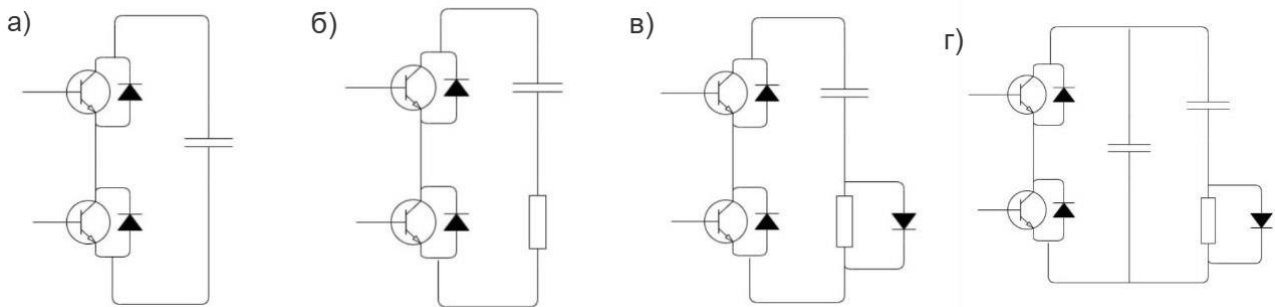


Рисунок 1 – Типы снабберов

Принцип действия заключается в том, что напряжение на конденсаторе не может измениться скачком, тем самым он ограничивает скорость нарастания напряжения на ключе в момент записания, снижая выброс. Однако у такого снаббера есть существенный недостаток: при включении транзистора накопленная в конденсаторе энергия рассеивается на самом ключе, вызывая бросок тока и дополнительные потери. Кроме того, для эффективной работы необходима очень низкая паразитная индуктивность монтажа. Таким образом, C-снабберы применяются ограниченно, как правило, в маломощных схемах.

2.2. RC-снабберы

В этом случае параллельно силовому ключу подключается участок из последовательно соединенных конденсатора и резистора (см. рис.1(б)). Резистор ограничивает ток разряда конденсатора при включении транзистора, а также демпфирует паразитные колебания в LC-контуре, образованном емкостью и паразитной индуктивностью. Такие снабберы применяются для защиты диодов, тиристоров и симисторов, для подавления высокочастотных помех в низковольтных цепях, а также в маломощных импульсных источниках питания. Недостатком такого снаббера является то, что вся энергия, запасенная конденсатором, рассеивается на резисторе, тем самым снижая КПД преобразователя.

2.3. RCD-снабберы

Эта разновидность снабберов включает в себя диод, конденсатор и резистор (см. рис.1(в)). Диод подключается так, чтобы обеспечить низкоомный путь для тока выброса при записании ключа, что дает эффективное ограничение перенапряжения, так как в этом случае при зарядке конденсатора потери

практически равны нулю. Резистор подключается параллельно конденсатору или последовательно с диодом и служит для разрядки конденсатора в то время, пока ключ открыт. Для RCD-снабберов тоже характерна проблема потерь на резисторе, а также потенциальная нестабильность работы на малых токах нагрузки или в режиме холостого хода. Эта разновидность снабберов применяется в мощных IGBT-инверторах, частотных преобразователях, сварочных аппаратах и обратных преобразователях, где требуется эффективное ограничение перенапряжений при высоких коммутлируемых токах.

2.4. Двухкаскадные снабберы

Двухкаскадная схема представляет собой комбинацию RC и RCD-снабберов, объединяющая их преимущества для более эффективного подавления перенапряжений (см. рис.1(г)). Типичная реализация включает малоиндуктивный конденсатор с малой емкостью (слюдяной или керамический) для демпфирования самых резких пиков напряжения и основной накопительный конденсатор большей емкости (пленочный) с цепью разряда через резистор. Данное разделение функций помогает добиться лучшего сглаживания выбросов в широком диапазоне частот. Главным недостатком таких снабберов является значительное увеличение количества элементов, что приводит к росту суммарных потерь в снабберной цепи и усложняет компоновку, требуя минимизации паразитных параметров монтажа.

2.5. Энергорекуперативные (бездиссипативные) снабберы

Вместо резистора в данных схемах используются дополнительные индуктивности, конденсаторы и диоды, образующие резонансный контур. Энергия, запасенная в паразитной индуктивности, перекачивается в снабберный конденсатор, а затем через специальные цепи возвращается в источник питания. Ключевыми проблемами данных снабберов являются сложность обеспечения работы во всем диапазоне нагрузок и сложность обеспечения мягкого выключения при малых токах нагрузки. Такие цепи применяются в высокоэффективных источниках питания, преобразователях для альтернативной энергии и другой технике, где каждый процент КПД имеет критическое значение.

3. Практическая методика расчета RCD-снабберов

После того, как были рассмотрены разновидности снабберных цепей, перейдем к ознакомлению с тем, как же именно осуществляется подбор компонентов. В качестве примера будем рассматривать расчет RCD-снаббера.

Прежде чем приступить к формулам, необходимо собрать исходные данные. Они берутся из технической документации на силовой ключ, параметров схемы преобразователя и оценки паразитных параметров. Для примера возьмем следующие параметры (типичные для модуля на 500 ампер):

- коммутлируемый ток $I = 510 \text{ А}$ – это максимальный ток, который будет выключать транзистор. Его берут из расчета схемы;
- напряжение звена постоянного тока $U = 800 \text{ В}$ – это напряжение, до которого заряжены конденсаторы в преобразователе;

- паразитная индуктивность шины $L = 35 \text{ нГн}$ – это индуктивность контура коммутации. В реальности ее сложно рассчитать, ее оценивают на основе геометрии или измеряют;

- частота переключения $f = 5 \text{ кГц}$ – частота ШИМ преобразователя.

- допустимое перенапряжение $\Delta U = 100 \text{ В}$ – это величина, на которую мы разрешаем напряжению на ключе превысить напряжение питания. Выбирается так, чтобы сумма допустимого напряжения и напряжения на ключе не превышала предельного напряжения транзистора с запасом. Например, для модуля на 1200 В , при $U = 800 \text{ В}$ можно задать $\Delta U = 200 - 300 \text{ В}$, но в рассматриваемом примере будет взято меньшее значение для жесткости.

3.1. Расчет емкости снабберного конденсатора

$$C = L \cdot \left(\frac{I}{\Delta U}\right)^2 = 35 \cdot 10^{-9} \cdot \left(\frac{510}{100}\right)^2 = 910 \text{ (нФ)},$$

Выбираем ближайший стандартный номинал в большую сторону: $C = 1 \text{ мкФ}$.

3.2. Расчет сопротивления снабберного резистора, исходя из условия отсутствия «звона» в LC-контуре

$$R \geq 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}} \Rightarrow R = 2 \cdot \sqrt{\frac{35 \cdot 10^{-9}}{10^{-6}}} = 0.374 \text{ (Ом)},$$

Выбираем ближайший стандартный номинал с запасом: $R = 0.39 \text{ Ом}$.

Чтобы конденсатор успел разрядиться за время, пока транзистор открыт, должно выполняться следующее неравенство:

$$R < \frac{1}{3fC} = \frac{1}{3 \cdot 5000 \cdot 10^{-6}} \approx 66.7 \text{ Ом},$$

Это условие дает верхний предел, наше значение $R = 0.39 \text{ Ом}$ попадает в него с большим запасом, что гарантирует разрядку конденсатора.

3.3. Расчет мощности резистора

$$P = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (\Delta U)^2 \cdot f = \frac{1}{2} \cdot 10^{-6} \cdot 100^2 \cdot 10^4 = 25 \text{ (Вт)},$$

Выбираем номинал, значение которого в 1.5-2 раза больше рассчитанного, чтобы оставить запас, возьмем $P = 50 \text{ Вт}$.

3.4. Подборка диода

Ключевым требованием к снабберному диоду является максимально малое время обратного восстановления. В момент включения транзистора диод должен мгновенно закрыться, чтобы разорвать цепь разряда конденсатора через ключ.

Затянутое восстановление приведет к броскам тока и дополнительным потерям. Поэтому в нашем случае диод должен быть из класса ультрабыстрых диодов с временем обратного восстановления t меньше 100 наносекунд, а в случае низковольтных схем могут применяться диоды Шоттки. Также диод должен сохранять работоспособность при воздействии повторяющихся импульсных токов, амплитуда которых равна коммутлируемому току (в нашем случае он равен 510 А). В технической документации это соответствует параметру «пиковый неповторяющийся ток». Кроме того, к пробивному напряжению диода U_d также предъявляется требование:

$$U_d \geq U + \Delta U \Rightarrow U_d \geq 900 \text{ В} - \text{для нашего случая.}$$

В данной работе были проанализированы физические процессы, приводящие к возникновению коммутационных перенапряжений в силовых ключах, и показана необходимость применения снабберных цепей для обеспечения надежной работы электротехнических устройств силовой электроники. Были рассмотрены основные типы снабберов (С, RC, RCD, двухкаскадные и энергорекуперативные): их устройство, недостатки и область применения. На примере мощного IGBT-ключа (510 А, 800 В) был выполнен численный расчет, в результате которого были определены номинальные значения емкости конденсатора ($C = 910 \text{ нФ}$), сопротивления резистора ($R = 0.39 \text{ Ом}$), потребляемой мощности резистора ($P = 50 \text{ Вт}$), а также требования к диоду: он должен быть ультрабыстрым ($t \leq 100 \text{ нс}$), выдерживать импульсные токи величиной 510 А и иметь определенное пробивное напряжение ($U_d \geq 900 \text{ В}$).

Литература

- [1]. Колпаков А.И. Проблемы проектирования IGBT-инверторов: перенапряжения и снабберы // Компоненты и технологии. 2008. № 9 (98). С. 112-118.
- [2]. Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А. Силовая электроника : учебник для вузов / под ред. Ю.К. Розанова. 2-е изд., стер. М. : Издательский дом МЭИ, 2019. 476 с. ISBN 978-5-383-01384-7.
- [3]. Бурман А.П., Розанов Ю.К., Шакарян Ю.Г. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учебное пособие. М. : Издательский дом МЭИ, 2012. 336 с. ISBN 978-5-383-00764-8.
- [4]. Колпаков А.И. Топология частотных преобразователей средней и большой мощности // Компоненты и технологии. 2002. № 2 (19). С. 38-43.
- [5]. Воронин П.А., Кузнецов И.А. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии : учебное пособие. М. : Энергоатомиздат, 2017. 336 с. ISBN 978-5-283-00928-3.
- [6]. Беспалов Н.Н., Ильин М.В., Капитонов С.С., Евишев А.В. Исследование процессов, протекающих в цепях с последовательным групповым соединением силовых полупроводниковых приборов при их выключении // Вестник РГУПС. 2021. № 3 (83). С. 112-119.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

В настоящее время управляемый электропривод широко используется во всех сферах промышленности. Частотно-управляемый электропривод позволяет получить высокие энергетические показатели работы исполнительных механизмов, как следствие, высокое качество технологических процессов. В промышленности широкое распространение получил асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Для обеспечения энергоэффективных режимов его работы применяются преобразователи частоты (ПЧ) – электротехнические устройства, выполняющие преобразование энергии переменного тока одной частоты в энергию переменного тока другой частоты [1]. Технология построения ПЧ развивалась достаточно долгое время и тесно связана с методами регулирования частоты, которые со временем также менялись. Данная работа направлена на анализ особенностей построения преобразователей частоты, выявления их достоинств и недостатков.

В первой половине XX века для регулирования частоты вращения асинхронного двигателя использовались генераторы, которые обеспечивали различные частоты питающих напряжений за счет изменения частоты вращения их ротора. Технология была отнюдь не совершенна, имела множество недостатков, таких, как большие размеры конструкции и, самое главное, низкий КПД вследствие множества механических и электрических потерь. В настоящее время такой подход нигде не применяется.

Во второй половине XX века был совершён научный прорыв в электротехнике, связанный с изобретением таких полупроводниковых приборов, как транзисторы и тиристоры. С этим связано появление новых методов преобразования частоты, появились непосредственные преобразователи частоты (НПЧ) и инверторные преобразователи частоты [4].

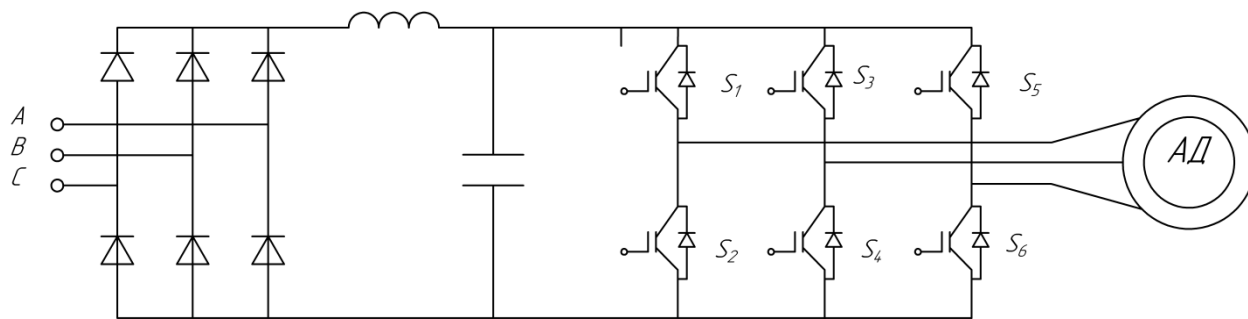


Рисунок 1 – Схема автономного инвертора напряжения

Большую популярность и распространение получили инверторные преобразователи частоты (рис. 1), состоящие из 3 основных элементов:

1) выпрямителя – диодный мост, формирующий из синусоидального входного напряжения квазипостоянное напряжение, состоящее из его положительных полуволн;

2) LC фильтр, препятствующий скачкам напряжения и тока, сглаживающий сигнал выпрямителя (звено постоянного тока);

3) инвертор – устройство, состоящее из нескольких транзисторных ключей, которые попеременно открываясь и закрываясь на установленные промежутки времени, формируют импульсный сигнал с переменной скважностью и частотой, который далее подается на электродвигатель, ротор которого станет вращаться с требуемой частотой.

В целом, инверторные преобразователи частоты являются устройствами достаточно практичными в использовании и обладают следующими достоинствами:

- могут питаться как от однофазной, так и от многофазных сетей;
- обладают высоким диапазоном модулируемых частот (до 2000 Гц);
- способны работать с двигателями как малой так и большой мощности (свыше 500 кВт);
- имеют достаточно высокий КПД: 95-98%.

Одним из существенных недостатков таких частотных преобразователей является наличие в них звена постоянного тока. Конденсатор под действием постоянных перепадов несинусоидального напряжения и больших коммутационных токов достаточно быстро выходит из строя, что приводит к значительному уменьшению КПД, а следовательно, к большим потерям, меньшей эффективности, к поломке частотного преобразователя и большим убыткам на предприятии [3].

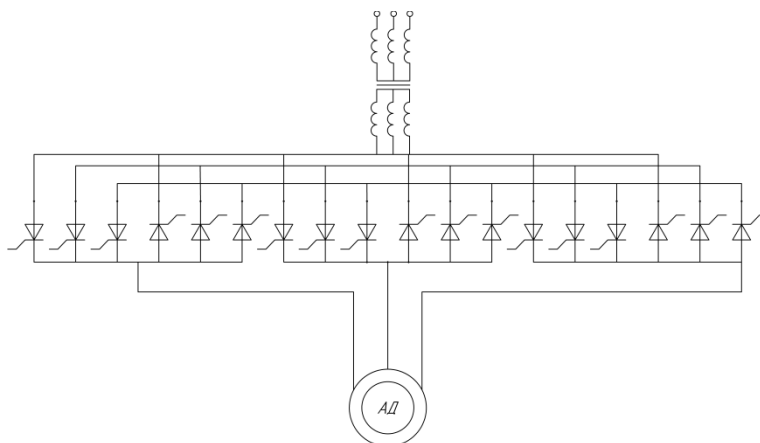


Рисунок 2 – Непосредственный преобразователь частоты

Непосредственные преобразователи частоты (рис. 2), в отличие от инверторных, не имеют звена постоянного тока. В них ток одной частоты не выпрямляется, а сразу преобразуется в ток другой частоты. Обычно они состоят из нескольких мостов, включающих в себя, как правило, по 6 транзисторов или тиристоров, обычно по одному мосту для каждой фазы. Попеременно открываясь и закрываясь, транзисторы пропускают лишь определенные участки

синусоиды, которую формирует питание сети [2]. Далее, проходящие через разные транзисторы части сигнала складываются в один, по форме близкий к синусоидальному. Здесь важно понимать, что идеальную синусоиду таким образом получить практически невозможно, сигнал будет иметь множество гармоник высших порядков, однако это не препятствует его использованию для питания двигателя.

Главными преимуществами такого метода преобразования частоты являются:

- способность работать на очень высоких мощностях (до нескольких МВт) за счёт отсутствия конденсатора, в котором при высоком напряжении может произойти пробой диэлектрического слоя;
- отсутствие звена постоянного тока, существенно образом повышающие эффективность и надёжность преобразователя в целом;
- выдерживают перегрузки за счёт использования в них тиристоров, рассчитанных на высокие напряжения.

Однако, НПЧ при множестве плюсов имеет достаточно значимый недостаток – они способны смодулировать сигнал с частотами, существенно меньшими частоты питающей сети. Таким образом, данные преобразователи имеют ограниченную область применения и практически не используются в промышленной сети.

Развитие силовой электроники, в конце XX века, привело к появлению транзисторов с изолированным затвором (IGBT), благодаря которым появились матричные преобразователи частоты (МПЧ), разработка и внедрение которых не завершены и продолжаются по сей день [5].

Матричные преобразователи частоты в теории представляют собой намного совершенную технологию частотных преобразований.

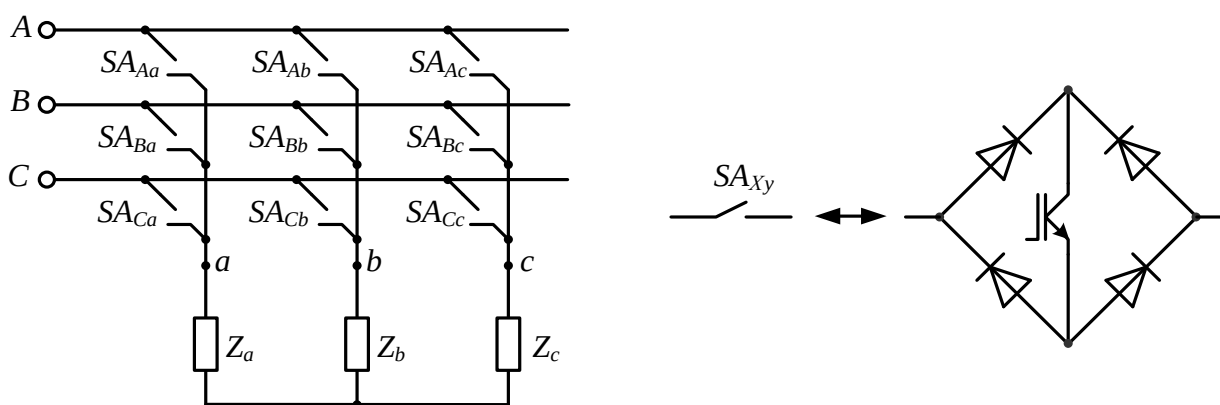


Рисунок 3 – Схема матричного преобразователя частоты

Устройство и принцип работы матричного преобразователя схоже с НПЧ: они оба работают без звена постоянного тока. Конструктивно МПЧ включает в себя 9 двунаправленных ключей (IGBT транзисторов), к которым подключено 3 фазы напряжения (рис. 3). Как и в НПЧ, ключи открываются и закрываются посредством управляющего сигнала, но в МПЧ закрытие ключей происходит

практически мгновенно, в отличие от НПЧ. Поэтому МПЧ на выходе способен формировать синусоидальный сигнал с частотой в довольно широком диапазоне и большей, чем частота питающей сети.

К тому же, МПЧ может не только подводить энергию к двигателю, но и отводить ее без надобности тормозных резисторов. Существует режим, при котором ключи замыкаются в порядке, обеспечивающем прямое соединение двигателя и источника (режим BYPASS).

Таким образом, можем выделить ряд преимуществ МПЧ:

- широкий диапазон модулируемых частот;
- выходной сигнал и имеет более близкую к синусоиде форму, чем у НПЧ;
- возможность рекуперации энергии без использования вспомогательных элементов схемы;
- отсутствие пассивных накопителей энергии и применение IGBT транзисторов обеспечивает большую долговечность и надежность прибора.

Однако, МПЧ также не лишены недостатков. Для обеспечения высокого КПД (близкого к 100 %) требуется выполнять коммутацию силовых ключей на частоте, не превышающей частоты питающей сети, что существенным образом, как и НПЧ, снижает их область применения.

В последнее время, в зарубежной литературе [6] предлагается новая идеология построения не прямых матричных преобразователей частоты (НМПЧ), позволяющая выполнять высокочастотные переключения силовых ключей (рис. 4). Отличительной особенностью НМПЧ от классических матричных преобразователей служит двух звеньевая структура, схожая с инверторами напряжения.

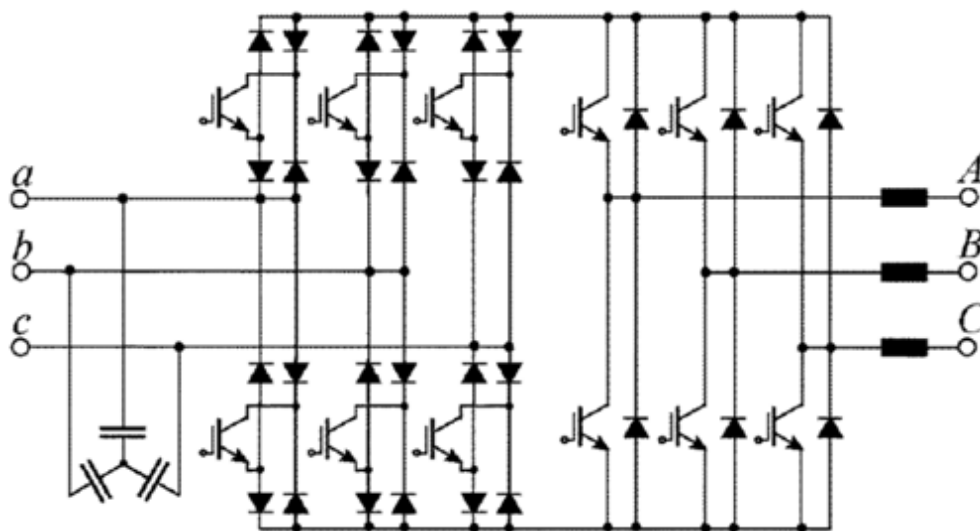


Рисунок 4 – Непрямой матричный преобразователь

Однако, в отличие от классического АИН, структура НМПЧ не содержит звена постоянного тока с габаритным электролитическим конденсатором. В итоге такая структура построения преобразователей частоты позволила не только исключить недостатки, которыми обладают МПЧ, но и объединить

достоинства инверторных и матричных (классических) преобразователей частоты.

Подводя итоги проведенного анализа, можно сделать вывод о том, что на данный момент в производстве широко используются инверторные ПЧ и НПЧ, которые хорошо выполняют свои функции, однако имеют ряд существенных недостатков. Появление НМПЧ и последующее их внедрение в промышленные сферы производства, позволят значительно повысить не только производительность технологических процессов, но и энергоэффективность производства в целом. Поэтому НМПЧ – наиболее перспективное направление развития преобразователей частоты в настоящее время.

Литература

- [1]. Козярук, А. Е. Современное состояние и перспективы развития регулируемого электропривода / А. Е. Козярук // Электротехника: сетевой электронный научный журнал. – 2020. – Т. 11, № 3. – С.14–21.
- [2]. Попов, А. В. Моделирование режимов работы частотно-регулируемого электропривода / А. В. Попов, Д. С. Михайлов. – Текст : электронный // Современные проблемы науки и образования. – 2021. – № 4.
- [3]. Шрейнер, Р. Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р. Т. Шрейнер. – Екатеринбург : УрО РАН, 2015. – 450 с. – ISBN 5-7691-1523-7.
- [4]. Электропривод переменного тока с частотным регулированием : монография / под ред. В. М. Терехова. – Москва : Машиностроение, 2013. – 288 с.
- [5]. Савельев, В. А. Имитационная модель матричного преобразователя частоты / В. А. Савельев, Р. Г. Шелкунов // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого. – 2018. – № 4. – С. 56–61.
- [6]. Johann W. Kolar, Frank Schafmeister, Simon D. Round and Hans Ertl. Novel Three-Phase AC–AC Sparse Matrix Converters // IEEE Transactions on power electronics, vol. 22, No. 5, September 2007. – pp.1649-1661.

*К.Р. Зантария, студ.; Д.А. Вертогузов, асп.; рук. А.А. Лебедев, к.т.н.
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»*

ЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА 6-35 кВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ РЗА

Для трансформаторов 6-35 кВ мощностью менее 4 МВА в соответствии с [1] и [2] в качестве основных защит должны применяться токовая отсечка (ТО) и максимальная токовая защита (МТЗ). В этом случае КЗ на выводах обмотки НН отключается МТЗ. Задержки в отключении вызывают потребность в новых решениях, учитывающих экономическую эффективность и надежность.

Логическая защита трансформатора (ЛЗТ) применяется для защиты понижающих двухобмоточных трансформаторов при междуфазных коротких замыканиях на ошиновке трансформатора в данном случае она используется как резервная защита, а также при внутренних повреждениях трансформатора как альтернатива дифференциальной защите трансформатора (ДЗТ) что мы и рассматриваем в данном докладе

ЛЗТ на базе МТЗ с ПОН применяется как основная защита трансформатора что позволяет не использовать дорогостоящую ДЗТ, так как ЛЗТ отвечает требованиям чувствительности и быстродействия/

Принцип действия ЛЗТ используемый в терминалах Таврида Электрик основан на ускорении МТЗ выключателя отходящей к трансформатору линии при отсутствии блокирующего сигнала от защитного аппарата на стороне НН трансформатора.

В чем заключается проблема МТЗ с ПОН маломощных трансформаторов. Время задержки отключения, которое варьируется от 1 до 3 секунд, что приводит к длительному воздействию аварийных токов на трансформатор. Выдержка времени необходима для обеспечения селективности, но приводит к повышению вероятности повреждения изоляции из-за увеличения тепловой нагрузки. Длительное протекание электродинамических нагрузок при неисправностях увеличивает риск механических повреждений элементов трансформатора.

Такие задержки снижают общую оперативность системы, уменьшая быстродействие и надежность защиты в экстренных ситуациях.

Классическая конфигурация ЛЗТ, описанная выше, использует один сигнал, блокирующий либо разрешающий, для которых рекомендуемая выдержка времени составляет 100-150 мс

Рекомендуется применение ЛЗТ с двумя типами сигналов, причем для разрешающего сигнала (РС) необходимо применять ПОН. Это повысит надежность и быстродействие защиты. Функция ЛЗТ должна реализовываться в устройстве РЗА трансформатора (УРЗА Т) и в устройстве РЗА вводного выключателя (УРЗА ВВ).

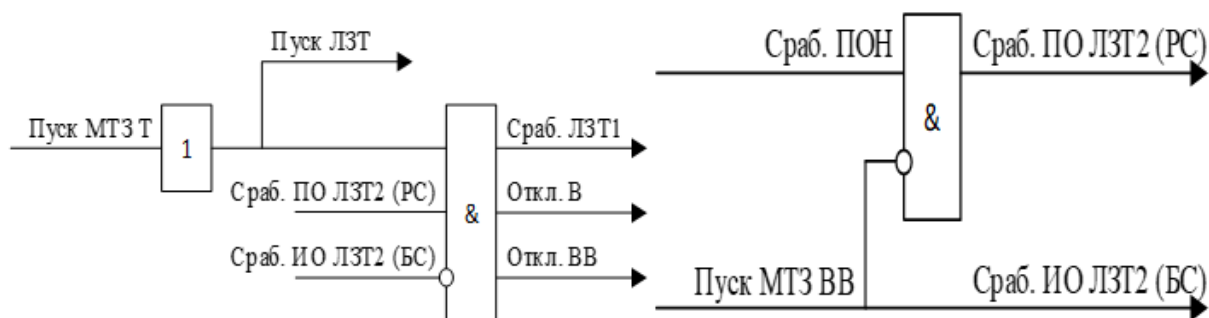


Рисунок 1 – Функционально-логическая схема предлагаемой логической защиты трансформатор: а) для УРЗА Т; б) для УРЗА ВВ

В УРЗА Т реализован функционал контроля пуска МТЗ трансформатора, разрешающего и блокирующего сигналов (РС и БС), отключения собственного выключателя (откл. В) и передачи команды на отключение ВВ (откл. ВВ).

В УРЗА ВВ реализован функционал контроля срабатывания ПОН (сраб. ПОН) и пуска МТЗ ВВ и формирования РС и БС.

При работе ТН работает по двум сигналам и без выдержки времени, если срабатывает блокировка при неисправности цепей напряжения (БНН), то срабатывает с выдержкой времени, как стандартная ЛЗТ

Применение двух типов сигналов позволяет однозначно определять КЗ в зоне и вне зоны без выдержки времени на ожидание сигнала.

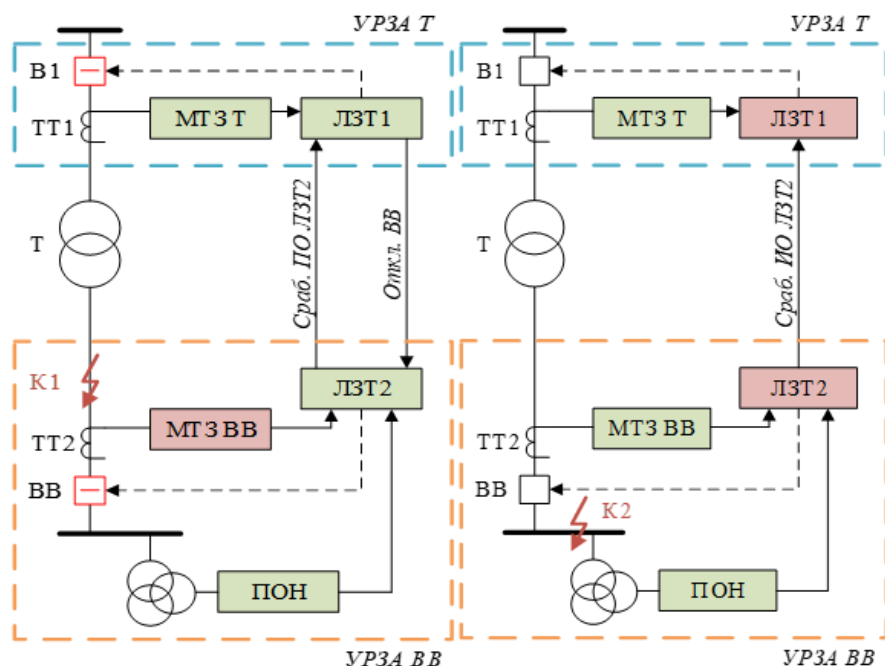


Рисунок 2 – Работа ЛЗТ при КЗ (слева–при внутреннем КЗ на выводах Т, справа – при внешнем КЗ на шинах НН)

Применение двух типов сигналов позволяет исключить срабатывание ЛЗТ как при внешних, так и при внутренних КЗ в случае отказа УРЗА ВВ или канала связи. При отказе УРЗА ВВ или к/с ЛЗТ надежно блокируется при КЗ.

В этих случаях сработает МТЗ с выдержкой времени

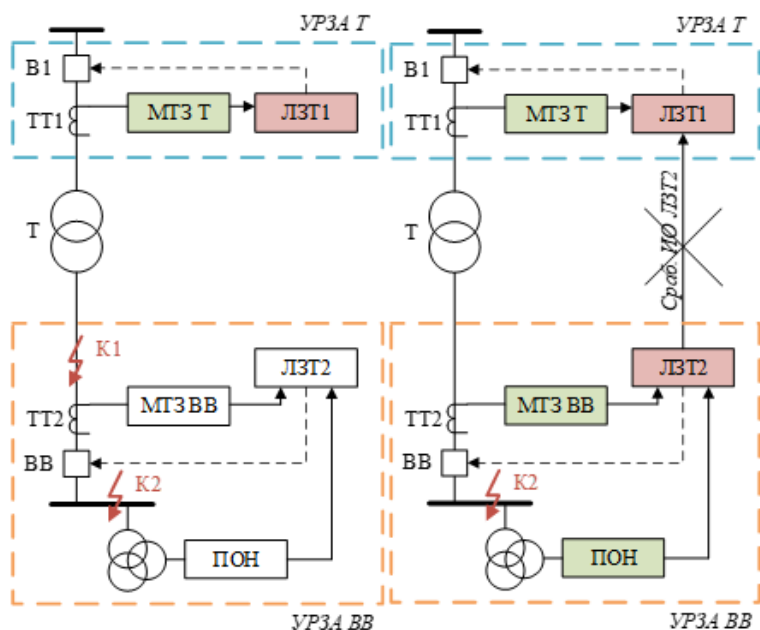


Рисунок 3 – Работа ЛЗТ (слева-при отказе УРЗА ВВ, справа-при отказе канала связи (БС) в режиме внешнего КЗ)

В заключении хотелось бы сказать, что, применение логических защит актуально при нецелесообразности применения дифференциальных защит или в качестве второй основной защиты. Также хотелось бы отметить, что существуют решения по ЛЗТ («Таврида Электрик», «Эстра», «Siemens», «ABB») но они не закреплены в НТД

Применение одного сигнала приводит к увеличению времени срабатывания и также может привести к излишнему срабатыванию. При реализации ЛЗТ с двумя каналами (БС и РС) защита не требует выдержки времени.

Аналогичные алгоритмы можно применять для любого оборудования 6–35 кВ с учетом особенностей их работы

Литература

- [1]. Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы шестого и седьмого изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 января 2013 г. М. : КноРус, 2013. 488 с. + CD-ROM. ISBN 978-5-406-02940-4.
- [2]. СТО 56947007-29.240.10.248-2017. Нормы технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ (НТП ПС).
- [2]. Маруда И. Ф. Релейная защита электрических объектов часть 1. Логические защиты. М.: НТФ «Энергопрогресс», 2015.
- [3]. Логика работы РЗА ТЕС_RecDoc_RPA_2. Версия 6.0. ООО «Таврида Электрик».

*Е. Д. Киреевкова, студ.; рук. Т.С. Ларькина, ст. пр.,
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ (СИФУ)

Системой импульсно-фазового управления (СИФУ) называется устройство, которое формирует управляющие импульсы для силовых полупроводниковых приборов, у которых регулируется фаза импульса (для тиристоров). Основной задачей СИФУ является управление углом открытия прибора для регулирования тока преобразователя или выходного напряжения.

Основными функциями СИФУ считаются: формирование управляющих импульсов необходимой формы и мощности; регулирование фазы (задержки) импульса относительно напряжения сети; синхронизация с сетью переменного тока; обеспечение гальванической развязки между цепями управления и силовыми цепями; защита от несанкционированных включений.

Ключевым параметром является угол управления α (угол задержки). Он определяет момент подачи управляющего импульса относительно перехода сетевого напряжения через ноль: если $\alpha = 0^\circ$, то прибор открывается сразу после перехода, увеличение угла управления задерживает открытие тиристора, при этом снижается среднее выходное напряжение, диапазон регулирования определяется схемой и составляет $1 - 130^\circ$ или $2 - 30^\circ$.

Рассмотрим алгоритм работы. Сначала происходит синхронизация с сетью (определяется момент перехода напряжения через ноль), затем формируется

пилообразное опорное напряжение, которое сравнивается с сигналом задания (управляющим напряжением). Импульс формируется в момент равенства напряжений, а после усиливается и передается на управляющий электрод тиристора.

Семейство импульсов при разных углах приведены на Рис. 1. Графики построены в Matlab.

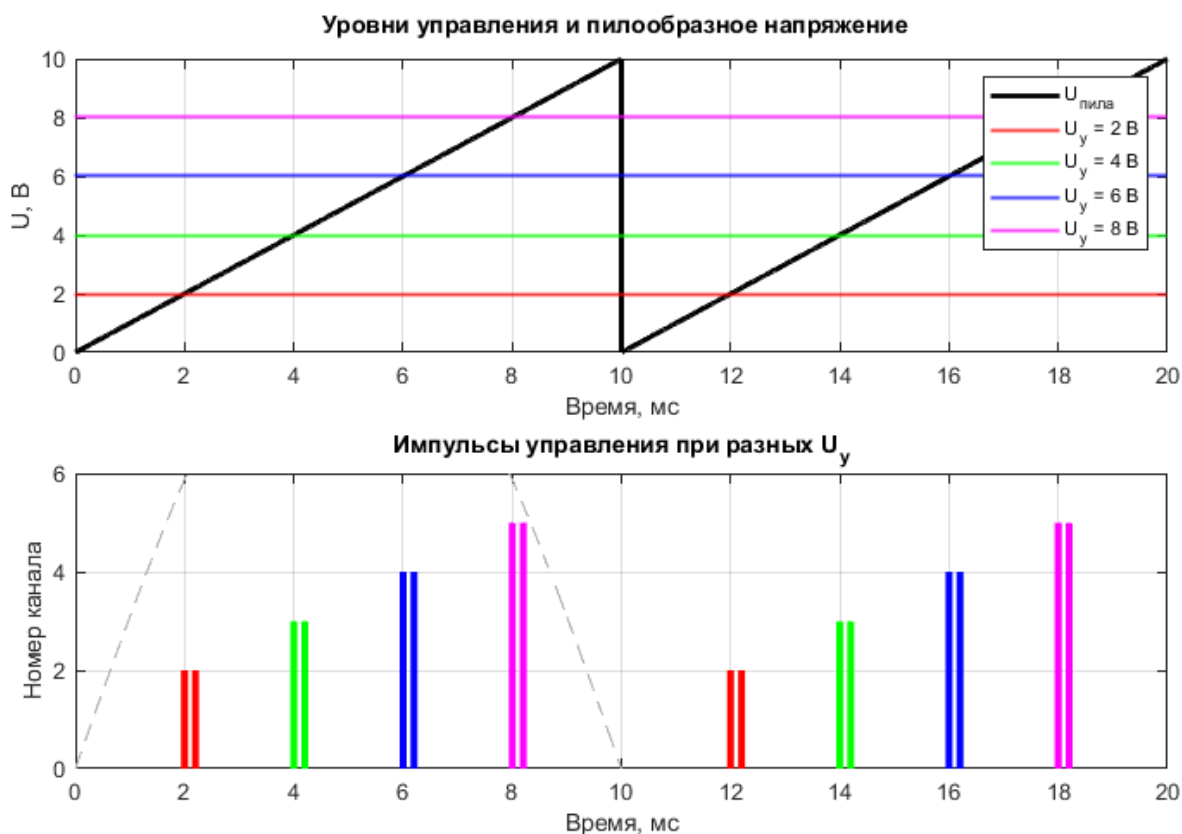


Рисунок 1 – Семейство импульсов при разных углах

Системы импульсно-фазового управления (СИФУ) можно классифицировать по принципу действия, структуре и элементной базе. Основными типами СИФУ являются аналоговые, цифровые или микропроцессорные и электромагнитные. Каждый тип имеет свои особенности устройства, принципы работы, достоинства, недостатки и области применения. [1, 2]

Аналоговые СИФУ: построены на операционных усилителях, компараторах, логических элементах. Используют аналоговые сигналы для формирования фазы. Очень надёжны, но менее гибки в настройке. Применяются в тиристорных преобразователях в промышленности, где не требуется высокая точность регулирования, а важна надёжность и простота.

Цифровые (микропроцессорные) СИФУ: основаны на микроконтроллерах или ПЛИС (программируемых логических интегральных схемах). Преобразуют аналоговые сигналы в цифровую форму для обработки. Обеспечивают высокую точность и гибкость алгоритмов управления. Позволяют реализовать сложные

функции диагностики и связи. Используются в современных тиристорных преобразователях, в металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности, гальванике, электротранспорте.

Электромагнитные СИФУ: используют электромагнитные устройства, формирующие импульсы в момент перехода ферромагнитных материалов в насыщенное состояние. Импульсы формируются за счёт нелинейных свойств ферромагнитных материалов при достижении насыщения. Надёжны при работе в тяжелых условиях, в некоторых реализациях имеют простые конструкции. Применяются в устаревших преобразователях технологического оборудования промышленных объектов. В настоящее время практически не используются из-за низкой эффективности и точности по сравнению с полупроводниковыми аналогами.

Системы импульсно-фазового управления (СИФУ) имеют несколько типовых схем, которые различаются по принципу работы и элементной базе. Основные из них – структурная схема с фазным управлением импульсов отпирания, схема с широтно-импульсным управлением и принципиальная электрическая схема на основе аналоговых компонентов.

Структурная схема СИФУ с фазным управлением импульсов отпирания (рис. 2) включает в себя блоки синхронизации (БС), которые выделяют точку начала отсчёта времени в положительной и отрицательной полуволне фазного напряжения. БС разрешает отсчёт интервала фазы для смещения импульсов управления. Задание на уровень выходного напряжения преобразователя определяется кодом оцифровки напряжения на входе аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Этот код подаётся на входы загрузки реверсивного счётчика ТОФ. Когда код в счётчике инкрементируется до нулевого уровня, формируется управляющий импульс. Блок формирования импульсов (БФИ) расширяет импульс и согласует его мощность с мощностью элемента управления.

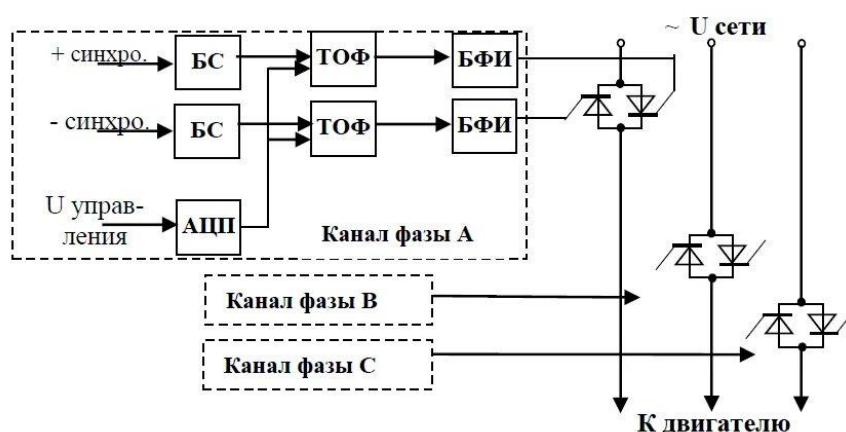


Рисунок 2 – Структурная схема СИФУ с фазным управлением импульсов отпирания

В структурной схеме СИФУ с широтно-импульсным управлением (рис.3) используются блоки синхронизации (БС), генератор регулируемой скважности

импульсов (ГРС), устройства модуляции сигналов управления (УМ), блок формирования импульсов (БФИ) и транзисторный регулятор. Амплитуда выходного напряжения определяется площадью интервалов открывания ключей, как и в фазных схемах. ШИМ-СИФУ проще в реализации и надёжнее фазных схем.

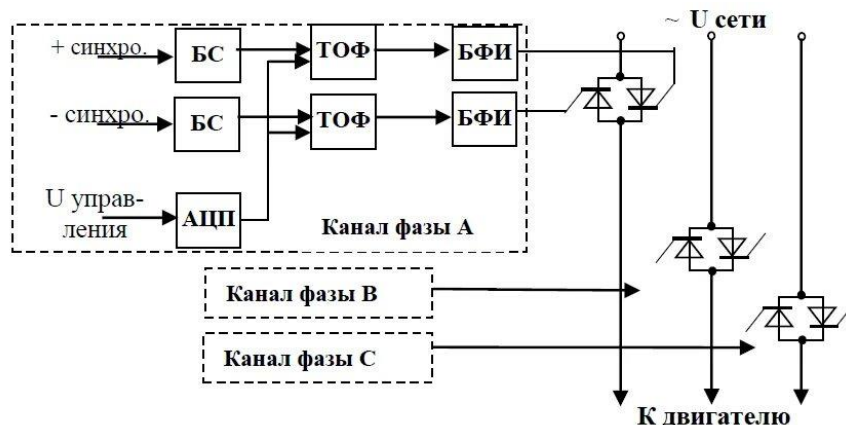


Рисунок 3 – Структурная схема СИФУ с широко-импульсным управлением

Принципиальная электрическая схема СИФУ (рис. 4) включает следующие блоки: узел синхронизации (С), генератор пилообразного напряжения (ГПН), два узла сравнения (УС1, УС2), два усилителя-формирователя (УФ1, УФ2).

Узел синхронизации выполнен на трансформаторе и ячейке ограничения напряжения синхронизации. Напряжение с выхода узла синхронизации поступает на вход ГПН, который выполнен на операционном усилителе. Напряжение с ГПН через конденсатор поступает на инвертирующий вход одного усилителя и на вход другого усилителя – первого узла сравнения.

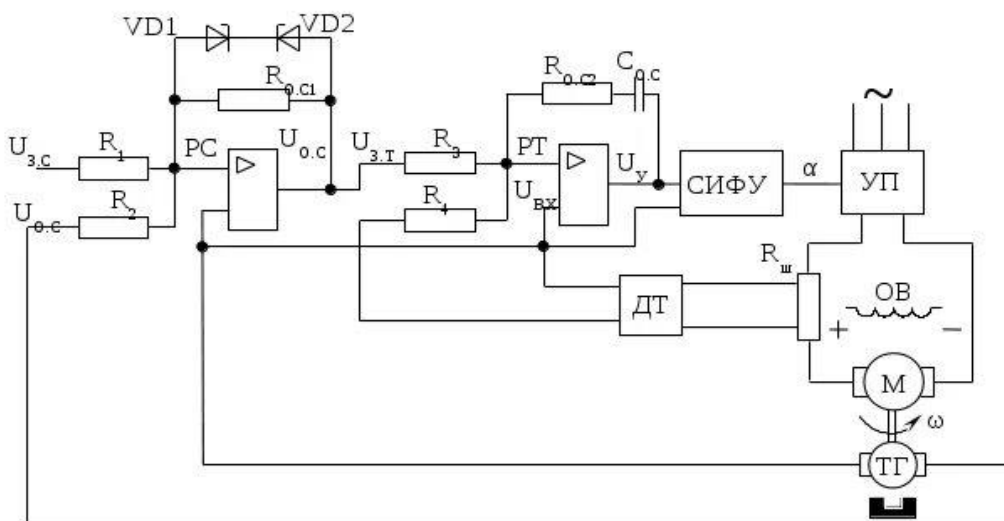


Рисунок 4 – Принципиальная электрическая схема СИФУ

Для наглядности преимущества и недостатки рассмотренных типов СИФУ можно свести в таблицу 1.

Таблица 1 – Сравнение основных типов СИФУ

Характеристика	Аналоговая СИФУ	Цифровая (МП) СИФУ	Электромагнитная СИФУ
Элементная база	Операционные усилители, компараторы, логические микросхемы	Микроконтроллеры, ПЛИС, цифровые сигнальные процессоры	Трансформаторы, дроссели насыщения, магнитные усилители
Точность формирования угла α	Средняя (зависит от температуры, дрейфа ОУ) (погрешность 2-5°)	Высокая (стабильность кварцевого резонатора) (погрешность < 0.1°)	Низкая (погрешность 5-10°)
Гибкость	Низкая (схемотехника «жесткая»)	Высокая (перепрограммирование)	Очень низкая
Помехоустойчивость	Средняя	Высокая (при правильной разводке)	Высокая
Стабильность работы	Зависит от температуры и старения компонентов	Высокая (кварцевая стабилизация)	Низкая (зависит от свойств магнетиков)
Сложность реализации	Средняя	Высокая (требуется знание программирования)	Низкая
Стоимость	Низкая (для простых схем)	Средняя/Высокая (для сложных алгоритмов)	Низкая (устаревшие компоненты)
Диагностика	Отсутствует или минимальна	Развитая (самодиагностика, передача данных)	Отсутствует
Область применения	Промышленные установки средней сложности, где важна надежность	Современные прецизионные преобразователи, металлургия, транспорт	Устаревшее оборудование, ремонт

Литература

- [1]. Маковский, А.Л. Силовые преобразователи электрической энергии в технических системах управления. Учебное пособие. / Маковский А.Л. – Минск: БГУИР, 2017 – 250 с.
- [2]. Руденко, В.С. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов / В.С. Руденко, В.И. Сенько, В.В. Трифонюк. – М.: Высшая школа, 1980. – 423 с.

СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Система управления в современном электроприводе, как правило, представляет собой классическую многоконтурную структуру с обратными связями по нескольким координатам. При проектировании такого электропривода применяются методы, использующие типовые настройки вложенных подчиненных контуров с регуляторами, настроенными на модульный или симметричный оптимум. Применение этого подхода приводит к хорошо формализованным алгоритмам синтеза параметров настройки контурных регуляторов. При этом показатели качества динамических процессов в спроектированном следящем приводе являются компромиссными между средним быстродействием и малым перерегулированием при значительной чувствительности к координатным возмущениям.

Целью данной статьи является исследование способов повышения динамических показателей электропривода путем введения в систему параметрической обратной связи. При этом структура системы управления усложняется не существенно, но её математическое описание и принципы синтеза отличаются от классических систем.

Основная идея параметрических систем заключается в том, что с помощью блоков умножения или деления в систему вводится дополнительная параметрическая обратная связь [1]. Тогда управление производится не путем изменения сигнала управления, а через изменение параметров самой системы. При этом стабилизация динамических свойств для улучшения переходных процессов возможна при их изменении в реальном времени.

Структура системы управления включает:

Основной контур: П-регулятор по положению/скорости («силовая» обратная связь);

Параметрический контур: введение дополнительной («гибкой») обратной связи, изменяющей:

- коэффициент усиления регулятора k_p ;
- постоянную времени демпфирования T_d ;
- коэффициент обратной связи по скорости.

В качестве исследуемой системы рассматриваем замкнутую систему электропривода с отрицательной обратной связью по положению/скорости. Введение параметрической обратной связи осуществим блоком умножения (рис. 1).

Пусть, например, задана передаточная функция для объекта управления второго порядка:

$$W_0(p) = \frac{10}{p(0,1p + 1)},$$

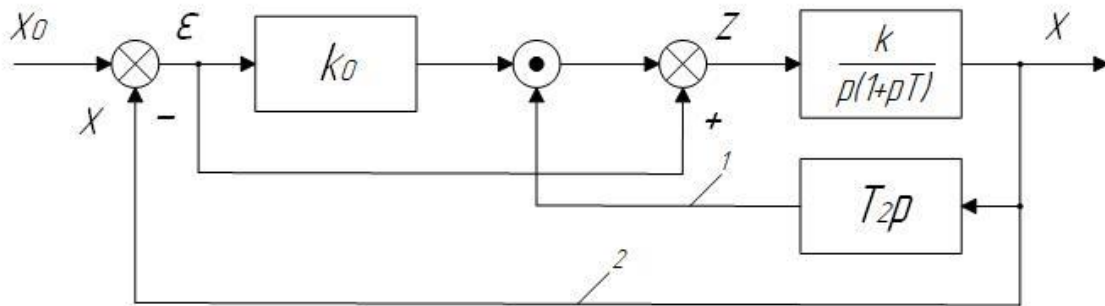


Рисунок 1 – Структурная схема САР с цепью параметрической обратной связи (1 – цепь параметрической «гибкой» обратной связи, 2 – цепь отрицательной «силовой» обратной связи)

Цепь параметрической обратной связи формируется из следующих блоков:

- В качестве «гибкой» обратной связи здесь выступает звено с передаточной функцией T_2p (дифференцирующее), выделяющее производную выходной величины x ;

- Связь замыкается в блок умножения, в итоге получаем произведения сигнала «гибкой» обратной связи с масштабным коэффициентом m и сигналом ошибки ε ;

- Внутренний сумматор сигналов регулятора и параметрической цепи, формирующий итоговое управляющее воздействие на объект.

Ключевым отличием от классического принципа построения замкнутой системы является синтез введенной параметрической обратной связи. Уравнение системы имеет вид:

$$\begin{cases} \varepsilon = x_0 - x \\ z = m \cdot k_0 \cdot T_2 \cdot x \cdot \varepsilon \\ (\bar{z} - T_1 p \bar{x})k = p(1 + pT)\bar{x} \end{cases},$$

где z – выход блока умножения; m – масштабирующий коэффициент блока умножения; k_0 – коэффициент усиления регулятора; T_2 – постоянная времени «гибкой» обратной связи; ε – ошибка слежения.

После преобразования получается нелинейное уравнение:

$$\frac{T}{k_0 k} \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} \left[\frac{1}{k_0 k} - m T_2 (x_0 - x) \right] = 0,$$

где $\theta = \frac{1}{k_0 k} - m T_2 (x_0 - x)$ – коэффициент, пропорциональный величине демпфирования и зависящий от величины ошибки (в линейных САР выбирается исходя из компромиссных требований).

Задача синтеза заключается в подборе коэффициентов T_2 и m , таким образом, чтобы:

- величина θ была положительной и достаточно большой для обеспечения хорошего демпфирования и быстрого движения (при больших ошибках);
- величина θ принимала оптимальное значение для точного позиционирования без колебаний.

В итоге управляющий сигнал, поступающий на объект, можно записать в виде:

$$U = k \cdot \varepsilon + m \cdot k_0 \cdot T_2 \cdot x \cdot \varepsilon = \varepsilon \cdot (k + m \cdot k_0 \cdot T_2 \cdot x).$$

Исходя из этого, коэффициент усиления по каналу ошибки становится переменным и зависящим от скорости изменения выходной величины. Это означает, что система автоматически и плавно регулирует своё собственное демпфирование в процессе переходного процесса.

$$k_{\text{пер}} = k + m \cdot k_0 \cdot T_2 \cdot x.$$

Проведем моделирование системы с параметрической обратной связью в пакете MATLAB/Simulink. Для этого разработана простая модель, представленная на рис. 2.

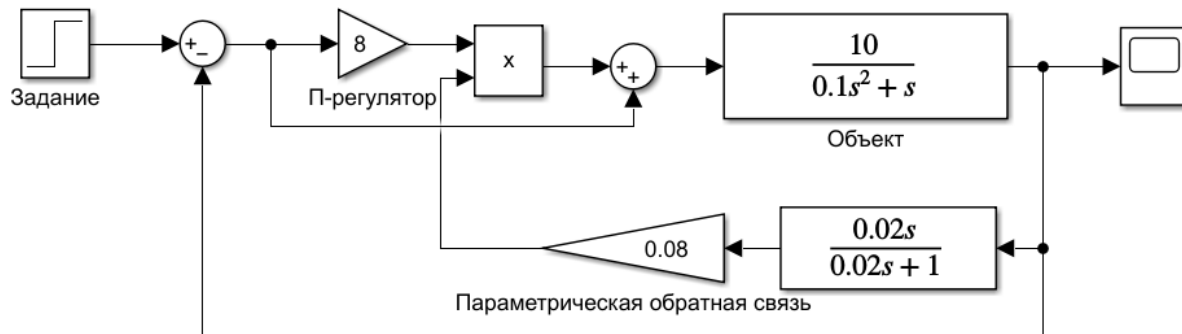


Рисунок 2 – Модель системы с параметрической ОС

Моделирование системы подтверждает зависимость от коэффициентов T_2 и m (рис. 3). Выбор коэффициентов влияет на динамические показатели. Множительный коэффициент определяет влияние параметрического воздействия на систему. Коэффициент T_2 определяет инерционность дифференцирования.

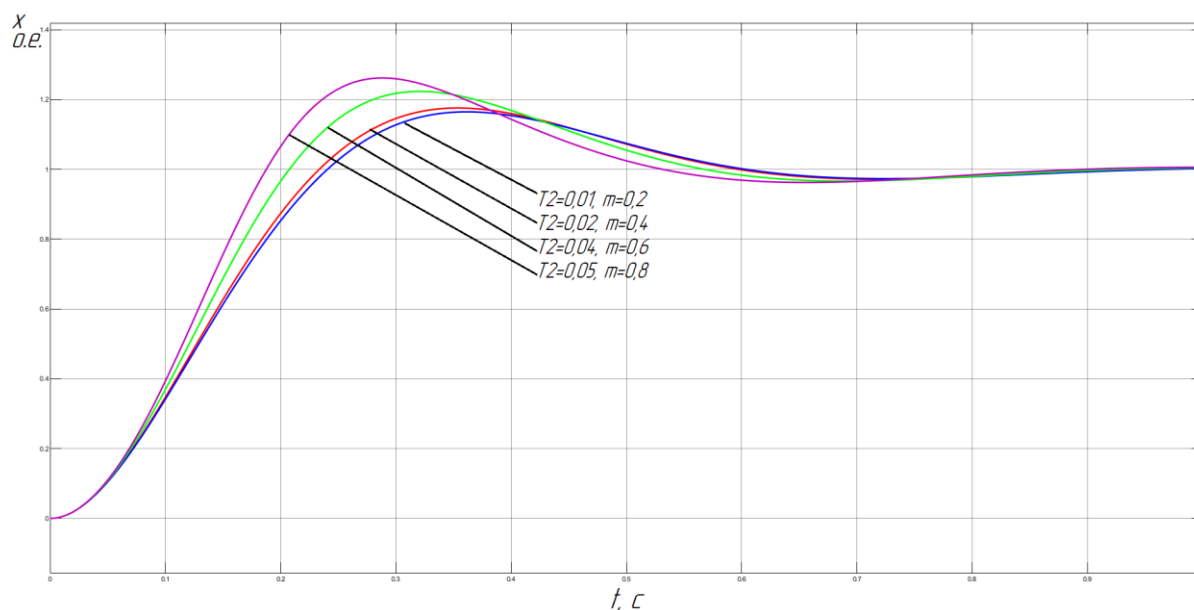


Рисунок 3 – Результаты моделирование системы с параметрической ОС при различных коэффициентах

Основными преимуществами введения параметрической связи являются:

- улучшенные динамические показатели;
- автоматическая адаптация системы;
- простота аппаратной реализации;

Недостатки:

- сложность синтеза;
- низкая эффективность при малых сигналах;

Таким образом, по сравнению с классическими решениями введение параметрической обратной связи может обеспечить более высокие динамические показатели электропривода.

Литература

- [1]. Догановский С. А. Параметрические системы автоматического регулирования. – Москва, «Энергия», 1973. Библиотека по автоматике. Выпуск 465.
- [2]. Рубан А.И. Адаптивные системы управления с идентификацией : монография / А. И. Рубан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. – 140 с.

ГЕНЕРАТОР ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЗВУКА

Параметрический звук (направленное звуковое излучение) используется для создания узконаправленных звуковых лучей, позволяя передавать звук точно в цель на большие расстояния без распространения по всей площади.

Область использования параметрического звука обширна:

1. Реклама и интерактивные витрины: создание зон звука, где сообщение слышит только человек, стоящий в узком луче, например перед витриной или стендом.

2. Музеи и выставки: Направленное аудио сопровождение конкретного экспоната, не мешающее посетителям вокруг.

3. Системы оповещения: направленная передача предупреждений или команд на дальние расстояния, например с воздушных судов и БПЛА

4. Персональный звук: создание локальной зоны звука без шумового загрязнения для окружающих, например в офисах и прочих рабочих пространствах. И. т. д.

Существует не так много коммерчески доступных продуктов, зачастую превышающих порог стоимости комфортной для покупки для применения в своих целях. Единственный дистрибьютер на территории России – RIWA. В ассортименте есть различные устройства, основанные на данном принципе, например Acouspade classic или Audfly fs mini (рис. 1) [1].



Рисунок 1 – Динамики Acouspade (слева) и Audfly (справа)

Устройство Audfly содержит антенную решётку, вероятно, основанную на излучателях ТСТ40-16Т, и с большой вероятностью второе устройство основано на схожих излучателях. Устройства по заверениям производителей работают с частотным диапазоном 150-16000 Гц. Так же существуют схемы «сделай сам» использующие полно-мостовые драйверы и различные устройства управления [2].

Таким образом можно сделать вывод что устройства модулируют некоторым образом несущую частоту 40 кГц входным сигналом, благодаря чему получается эффект направленности.

В статье рассматривается принцип генерации параметрического сигнала, основанный на широтно-импульсной модуляции. Исходя из этого принципа предложена управляющая схема, основанная на программируемой логической интегральной схеме (ПЛИС), полно-мостовом драйвере, повышающем преобразователе напряжения, в качестве источника питания для драйвера и I²S АЦП в качестве приемника звукового сигнала (рис. 2).

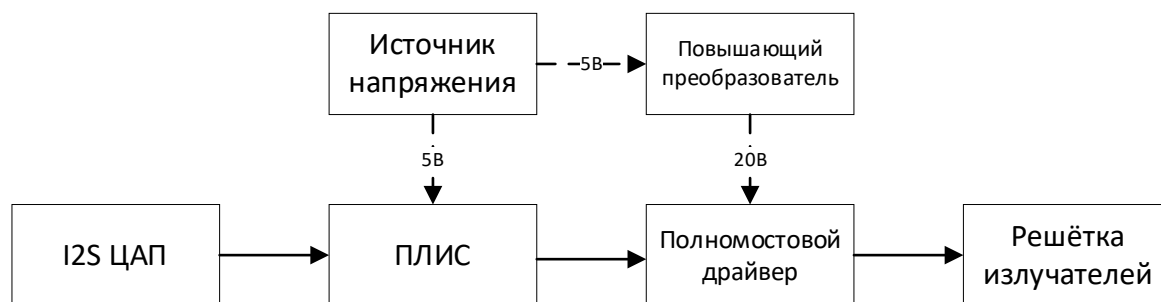


Рисунок 2 – Структурная схема генератора параметрического звука

Входящий сигнал поступает по интерфейсу I²S на ПЛИС как поток байтов. Используя внешнее тактирование ПЛИС генерирует управляющий сигнал для полно-мостового драйвера – сначала генерируется верхняя полуволна с модуляцией 0-100% в зависимости от полученного значения, затем нижняя полуволна с аналогичной модуляцией.

Зная тактирование ПЛИС можно легко рассчитать корректные тайминги для вывода сигнала на ножки. ПЛИС использует источник тактового сигнала 100 МГц. Полный период сигнала произойдет за:

$f_{\text{fpga}} / f_{\text{signal}} = 100000000 / 40000 = 2500$ тактов, где f_{fpga} – тактирование ПЛИС, f_{signal} – частота несущей волны.

В основе работы схемы используется счетчик, который сбрасывается в ноль каждую половину волны. Каждую половину волны, в зависимости от её полярности, будет выставлен соответствующий вывод управления драйвером в '1'. Затем в интервале от 0 до 1250 сигнал будет держаться в '1' – чем дольше, тем больше будет считаться заполнение.

Принимаемые данные с АЦП принимают 256 разных значений (8 бит), поэтому для того, что бы заполнение было больше умножаем это значение на 4 – делаем логический сдвиг сигнала влево на 2 – получаем диапазон от 0 до 1024 что не совсем является полным заполнением ШИМ однако уменьшает нагрузку на драйвер (скорость переключения ключей не идеальная, поэтому лучше сначала отключить канал, подождать, а затем включить другой), а так же уменьшает сложность при синтезе дизайна логики внутри ПЛИС (рис. 3).

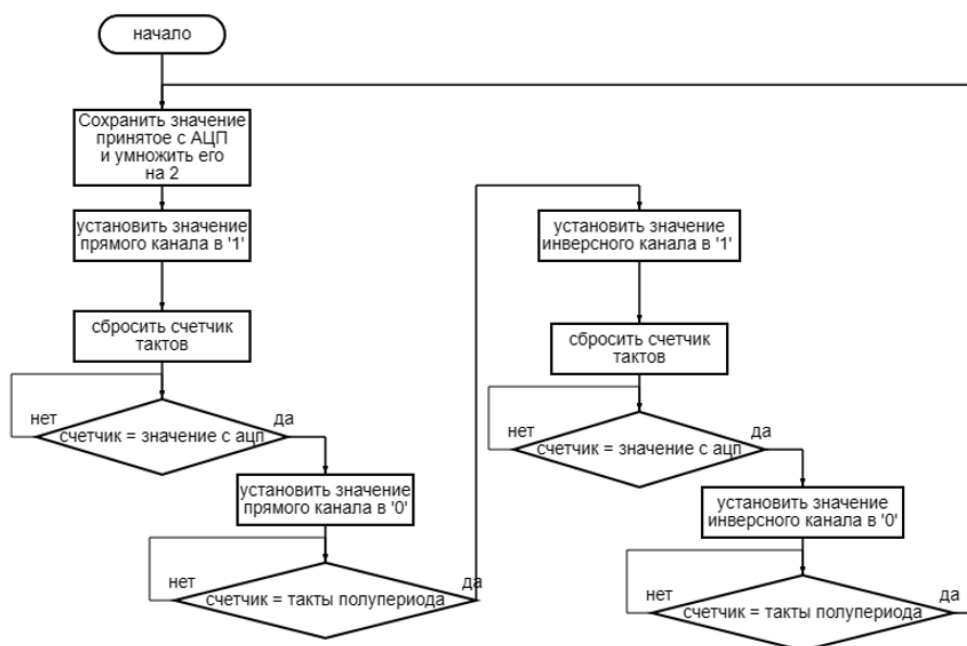


Рисунок 3 – Алгоритм модуляции и управления драйвером излучателей

Используя данный алгоритм, опишем блок генератора для ПЛИС на языке описания аппаратуры (VHDL).

Счетчик для генерации несущей частоты, задвижку для сохранения и сдвига текущего значения и разрешающий сигнал для вывода данных, а, так же две константы для удобства задания периодов генерируемой волны.

По переднему фронту тактового сигнала производятся все операции, а именно: главный счетчик, переключающий направление подключения на выходе, сброс разрешающего сигнала в ноль при достаточном заполнении текущей полуволны и вывод сигнала прямого и инверсного в зависимости от сгенерированных данных.

В рамках этой работы был разработан макет, состоящий из 20 излучателей, соединенных параллельно, полно-мостового драйвера, повышающего преобразователя напряжения, ПЛИС и аналогово-цифрового преобразователя. Разработана программа, включающая в себя чтение данных по интерфейсу I²S, и генератора сигнала, основанного на алгоритме описанного выше.

При подключении устройства к питанию и источнику аудиосигнала создается узконаправленный луч звука, эффект не имеет аналогий. При нахождении внутри луча звук воспринимается как обычный динамик, легко опознается направление источника, однако если выйти из зоны излучения этого луча, источник звука сразу же теряется. Источником слышимого звука становится место, куда направлен излучаемый сигнал.

Литература

- [1]. RIWA [электронный ресурс] – режим доступа: https://www.riwa.ru/equipment/innov/directional_sound_system/ (дата обращения 13.03.26)
- [2].DIY Parametric Speaker [электронный ресурс] – режим доступа: <https://hackaday.com/2025/03/04/build-a-parametric-speaker-of-your-own/> (дата обращения: 13.03.26)

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Силовые трансформаторы являются в энергосистемах страны важнейшим оборудованием в преобразовании и передачи энергии на большие расстояния. Стабильное потребление электрической энергии промышленностью, сельскохозяйственным производством и населением напрямую зависит от надежной работы силовых трансформаторов. Следовательно, силовые трансформаторы считаются наиболее ценным имуществом подстанций. Кроме того, как в мире, так и РФ большинство силовых трансформаторов уже исчерпали свой расчетный срок эксплуатации. Поэтому актуальной становится задача своевременного обнаружения дефектов и оценки состояния изоляционной системы оборудования, а также возможности прогнозирования остаточного ресурса такого дорогостоящего оборудования. В современных условиях контроль технического состояния силовых трансформаторов реализуется посредством обширного набора диагностических методик. В данной работе проводится анализ методов контроля, которые регламентируются нормативными документами энергокомпаний нашей страны.

Ключевым инструментом выявления интенсивно развивающихся дефектов в активной зоне силовых трансформаторов служит метод хроматографического анализа растворенных газов (ХАРГ). Обычно речь идет о диагностировании локальных перегревов (превышающих 150°C), а также частичных и дуговых разрядов. Обработка результатов исследования опирается на определение концентраций ключевых газов-индикаторов (водород – H_2 , метан – CH_4 , ацетилен – C_2H_2 , этилен – C_2H_4 , этан – C_2H_6 , оксид углерода – CO , диоксид углерода – CO_2) и анализ их взаимных пропорций. При этом принимаются во внимание условия эксплуатации, влияющие на газовыделение. Наиболее информативным считается сравнение полученных показателей с предельно допустимыми уровнями (табл. 1), а не просто относительные значения концентраций.

Таблица 1 – Граничные концентрации растворенных в масле газов

Оборудование	Концентрации газов, %об.						
	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	CO_2
Трансформаторы напряжением 110 – 500 кВ	0,01	0,01	0,001	0,01	0,005	$\frac{0,05}{0,06}$	$\frac{0,2(0,4)}{0,6(0,8)}$
Трансформаторы напряжением 750 кВ	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,05	0,40

Различие значений предельных концентраций CO и CO_2 в табл. 1 обусловлены разновидностями защит масла от окисления и сроками эксплуатации оборудования. В числителе приведены значения для трансформаторов с азотной или пленочной защитами масла, в знаменателе – для трансформаторов со свободным дыханием. Для концентраций CO_2 приведены значения как для трансформаторов со сроком эксплуатации до 10 лет, так и со сроком службы более 10 лет – указаны в скобках.

Классификация обнаруживаемых дефектов предполагает их разделение на категории: повреждения магнитной системы, нарушения в обмотках и контактных соединениях, а также неисправности вспомогательных элементов (насосов, вводов, охлаждающих устройств). Диагностика неисправностей изоляционной системы трансформатора базируется на оценке пропорций концентраций газовых компонентов. Такой подход позволяет выявлять электрические нарушения, включая частичные разряды с различной энергетической плотностью, разряды разной мощности и термические повреждения. Классификация термических дефектов производится согласно четырем температурным грациям: до 150°C , от 150 до 300°C , от 300 до 700°C и свыше 700°C [1]. Эффективность метода позволяет диагностировать тип повреждения с достоверностью около 90%. Однако точность может снижаться при наличии комплексных неисправностей, когда в одном устройстве одновременно протекает несколько дефектных процессов.

В международной практике для интерпретации результатов хроматографического анализа применяют треугольник Duval'я. Метод треугольника Duval'я опирается на анализ трёх ключевых углеводородных компонентов (рис. 1), концентрация которых коррелирует с уровнем энергии процессов газообразования, протекающих в трансформаторе в ходе эксплуатации [2].

Неоспоримым достоинством рассматриваемого подхода является высокая достоверность диагностирования и минимальная вероятность ложных заключений. Идентификация неисправностей производится путём графического отображения соотношения растворённых газов на специальной треугольной диаграмме (рис. 1).

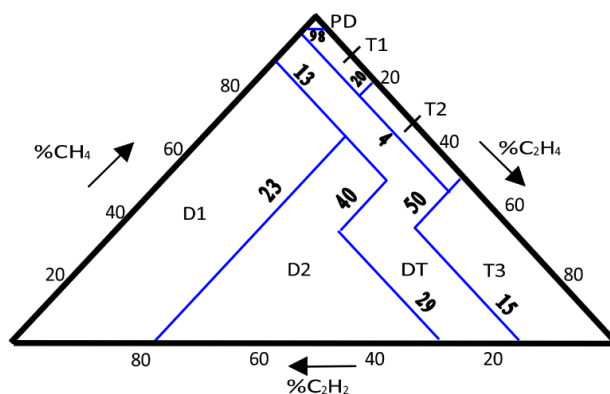


Рисунок 1 – Треугольник Duval'я

Использование треугольника Дюваля даёт возможность классифицировать следующие категории дефектов:

- PD – частичные разряды;
- D1 – разряды низкой энергии;
- D2 – разряды высокой энергии;
- T1 – термические нарушения при температуре ниже 300°C;
- T2 – термические процессы в интервале 300–700°C;
- T3 – высокотемпературные термические дефекты (свыше 700°C).

Область DT на диаграмме характеризует смешанные электротермические неисправности. Геометрическая интерпретация метода строится на использовании треугольных координат (P1, P2, P3), отражающих процентное содержание метана (CH₄), этилена (C₂H₄) и ацетилена (C₂H₂) в диапазоне от 0 до 100% для каждого компонента [2].

Кроме ХАРГ в диагностике состояния изоляционной системы трансформатора применяют и электрические методы контроля. Одним из таких методов выступает значение сопротивления изоляции обмоток. Для диагностики состояния изоляции обмоток высокого напряжения используется мегомметр с испытательным напряжением 2500 В, а при замере сопротивления обмоток низкого напряжения – 1000 В. Измерение сопротивления изоляции обмоток трансформатора должно производиться при температуре не ниже: 10°C – у трансформаторов напряжением до 150 кВ включительно; 20°C – у трансформаторов напряжением 220 – 750 кВ.

В отношении трансформаторов, вступающих в эксплуатацию впервые либо после выполнения капитального ремонта минимально допустимое значение сопротивления изоляции должно быть не ниже 50% от первоначальных заводских характеристик, зафиксированных в паспортных данных оборудования. В процессе эксплуатации измерения производятся при неудовлетворительных результатах испытаний масла (область риска) и (или) хроматографического анализа газов, растворенных в масле, а также в объеме комплексных испытаний.

Помогаев Ю.М. [3] указывает, что величина сопротивления изоляции характеризуется изменчивостью и не относится к параметрам электрической машины, а отражает актуальное состояние изоляционной системы на момент проведения измерений. В связи с этим, контроль сопротивления изоляции целесообразно применять не как самостоятельный критерий, а в качестве вспомогательного инструмента для достоверности испытаний в рамках многопараметрической стратегии комплексной оценки технического состояния оборудования.

Измерение тангенса угла диэлектрических потерь изоляции обмоток также относится к электрическим методам контроля и является наиболее информативным в оценке состояния изоляции силовых трансформаторов. При приложении к диэлектрику переменного напряжения через него протекает ток, состоящий из ёмкостной и активной составляющих. Тангенс угла

диэлектрических потерь характеризует отношение активной мощности потерь к реактивной мощности и определяется как $\operatorname{tg} \delta = \frac{I_a}{I_c} \cdot 100\%$, где I_a – активная составляющая тока, I_c – ёмкостная составляющая. Измерения выполняются с помощью мостов переменного тока или автоматизированных измерителей параметров изоляции при испытательном напряжении 10 кВ.

Данный метод позволяет выявлять общее увлажнение, старение и дефекты изоляционной системы на ранней стадии развития. Так содержание водной примеси в масле обуславливает рост диэлектрических потерь, а также формирование U-образной характеристики $\operatorname{tg} \delta$ (рис. 2) в функции от температуры (минимальное значение наблюдается при 50°C). Для фиксированных параметров температуры и относительной влажности существует предельный уровень концентрации влаги, превышение которого влечет существенное увеличение $\operatorname{tg} \delta$ [4].

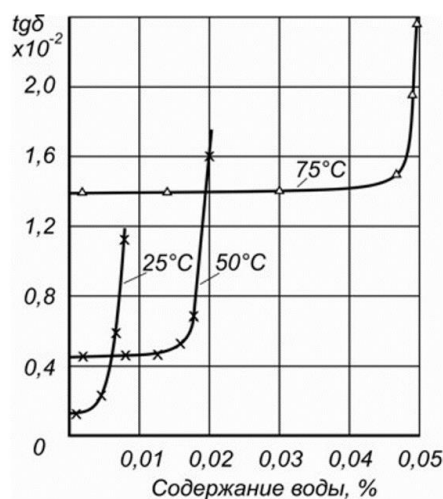


Рисунок 2 – Зависимости $\operatorname{tg} \delta$ от степени и увлажненности масла при различных температурах

Оценка состояния изоляции осуществляется путём сравнения полученных значений с нормативными требованиями, заводскими данными и результатами предыдущих измерений. Абсолютное значение, а также характер его зависимости от температуры и приложенного напряжения позволяют сделать вывод о техническом состоянии изоляционной системы и необходимости проведения восстановительных мероприятий. Критерием, свидетельствующим о приемлемом состоянии изоляционной системы, выступает значение $\operatorname{tg} \delta$, не превышающее 1%, при условии проведения измерений в температурном диапазоне от 20°C и выше.

Анализ содержания фурановых соединений в трансформаторном масле представляет собой косвенный метод диагностики степени деградации целлюлозной (бумажно-масляной) изоляции обмоток силовых трансформаторов. Метод позволяет оценить остаточный ресурс изоляции без вскрытия оборудования и отбора проб твёрдой изоляции.

В процессе эксплуатации под воздействием термоокислительных и гидролитических процессов происходит деструкция целлюлозной изоляции, сопровождающаяся образованием низкомолекулярных продуктов распада – фурановых соединений, которые переходят в трансформаторное масло. Для диагностики ключевой производной фурана является фурфурол.

Предельно допустимая концентрация суммы фурановых соединений в изоляционной среде установлено на уровне, не превышающем 0,0015% массы, при этом содержание фурфурола ограничивается значением 0,001% по массе. Превышение данных значений свидетельствует о развитии процессов деградации целлюлозной изоляции и требует проведения углублённой диагностики.

Помимо фурфурола рассматриваются и другие соединения фурана. Б.А. Алексеев [5] указывает на функциональную связь концентрации фурфуральдегида FAL и степени полимеризации СП (рис. 3):

$$\log_2 FAL = -0,00287 \cdot СП + 3,4.$$

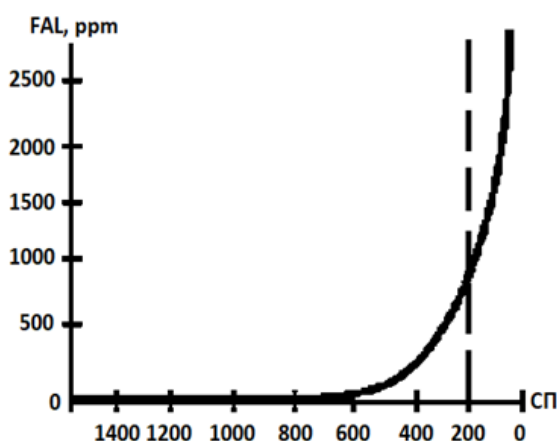


Рисунок 3 – Зависимость концентрации фурфуральдегида от степени полимеризации СП

Определение фурановых соединений выполняется газохроматографическим или высокоэффективным жидкостным хроматографическим методом.

Оценка степени полимеризации представляет собой прямой метод оценки уровня деградации твёрдой изоляции обмоток силовых трансформаторов. Данный параметр является наиболее достоверным индикатором остаточного механического ресурса бумажно-масляной изоляции, поскольку характеризует необратимые изменения молекулярной структуры целлюлозы в процессе эксплуатации. Определение степени полимеризации выполняется вискозиметрическим методом.

Значение степени полимеризации позволяет оценить остаточный ресурс изоляционной системы трансформатора и прогнозировать остаточный срок

эксплуатации [5]. Эмпирическая формула связи срока службы бумажной изоляции с величиной СП:

$$L_{ост} = 1/K(1/СП_t - 1/СП_k),$$

где $L_{ост}$ – остаточный срок службы; $СП_t$ – минимально допустимое значение СП; $СП_k$ – значение СП в начале отсчета старения; K – коэффициент, зависящий от условий старения, при $T_{н.н.т} = 70^\circ\text{C}$ он принимается в пределах $(1...1,5)10^{-8}$, при 90°C – $(1,5...2,5)10^{-8}$, при 110°C – $(2...5)10^{-8}$.

Недостатком метода служит необходимость непосредственного доступа к изоляции, что ограничивает его частоту применения. Прямое определение степени полимеризации рекомендуется выполнять только при капитальных ремонтах трансформаторов, отработавших нормативный срок службы, а также при подозрении на критическое старение изоляции по результатам косвенных методов.

Выполненный анализ существующих подходов к диагностике изоляционной системы силовых трансформаторов позволяет заключить, что обеспечение надежности энергосистемы в условиях истощения оборудованием расчетного срока эксплуатации требует использования только комплексной диагностики. Ни один из рассмотренных методов в отдельности не способен предоставить исчерпывающую информацию о техническом состоянии объекта.

Хроматографический анализ растворенных газов подтвердил свою высокую эффективность для выявления локальных перегревов и разрядных процессов, особенно при использовании треугольника Дюваля для классификации дефектов. Электрические методы, такие как измерение сопротивления изоляции и тангенса угла диэлектрических потерь, служат базовым инструментом для обнаружения увлажнения, загрязнения и старения изоляционной системы, однако при их интерпретации необходимо учитывать температурные зависимости и динамику изменения показателей во времени.

Анализ содержания фурановых соединений в масле представляет собой доступный косвенный метод диагностики, тогда как определение степени полимеризации целлюлозы является наиболее достоверным прямым способом оценки остаточного ресурса. Системное использование физико-химических и электрических методов контроля позволяет своевременно выявлять дефекты на ранней стадии, обосновывать продление эксплуатационного ресурса и предотвращать аварийные отключения дорогостоящего оборудования подстанций.

Литература

- [1] РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле / РАО «ЕЭС России», 2001. – 26 с.
- [2] Akbari A., Setayeshmehr A., Borsi H., Gockenbach E. A Software Implementation of the Duval Triangle Method // IEEE 2008, No.6, pp. 124-127.

- [3] Помогаев Ю.М., Картавец В.В., Лакомов И.В. Диагностика изоляции электрооборудования // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1 (48). с. 98-104.
- [4] Кашин Я.М., Кириллов Г.А., Варенов А.Б., Ермолаев А.А., Габидулин В.Э. Анализ современных методов и аппаратуры контроля качества трансформаторного масла // Ежеквартальный рецензируемый, реферируемый научный журнал «Вестник АГУ». – 2017. – Выпуск 3 (206). с. 109 – 121.
- [5] Алексеев Б.А. Крупные силовые трансформаторы: контроль состояния в работе и при ревизии. М.: НТФ «Энергопрогресс». – 2010. 88 с., ил.

*С. Р. Трофименко, асп.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАДАЧ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ

В последние годы в развитии электропривода прослеживается устойчивая тенденция к отказу от механических датчиков скорости и положения (энкодеров, резольверов), усложняющих кинематическую часть привода, требующих обслуживания, работающих в условиях электромагнитных помех, удорожающих систему. Такой подход продиктован стремлением к повышению эксплуатационной надежности и снижению итоговой стоимости системы при условии использования не единичных экземпляров бездатчиковых систем, а хотя бы мелкой серии. Как показывает практика эксплуатации, реализация бездатчикового управления предъявляет повышенные требования к аппаратной части. Это обусловлено сложностью математического описания возможных алгоритмов идентификаторов для бездатчикового привода, например, на основе наблюдателей состояния, теории функций Ляпунова, двумерных скользящих режимов, разностных уравнений машины [1], [2].

В данном контексте критически важным элементом становится печатная плата, реализующая такой идентификатор, от качества которой зависят помехоустойчивость и точность измерительных каналов. Устойчивость к помехам и точность каналов измерения электрических сигналов здесь выступают ключевыми факторами предсказуемой и устойчивой работы системы в условиях интенсивных промышленных помех.

Практика применения бездатчиковых систем показывает, что совмещение функции управления преобразователем частоты и реализация алгоритмов управления на одном микроконтроллере зачастую не обеспечивают требуемой точности электропривода. Для решения этой проблемы предлагается архитектурное разделение задач.

Целью настоящей статьи является анализ одного из вариантов реализации идентификатора с применением печатного монтажа и декомпозицией функционала между микроконтроллерами.

В предлагаемом подходе функции коммуникации и управления инвертором в составе преобразователя частоты (ПЧ), а также вычисления скорости и положения ротора распределены между двумя специализированными

микроконтроллерами. Далее представлен подход к проектированию принципиальной электрической схемы, разработанной с учетом специфических требований бездатчикового электропривода.

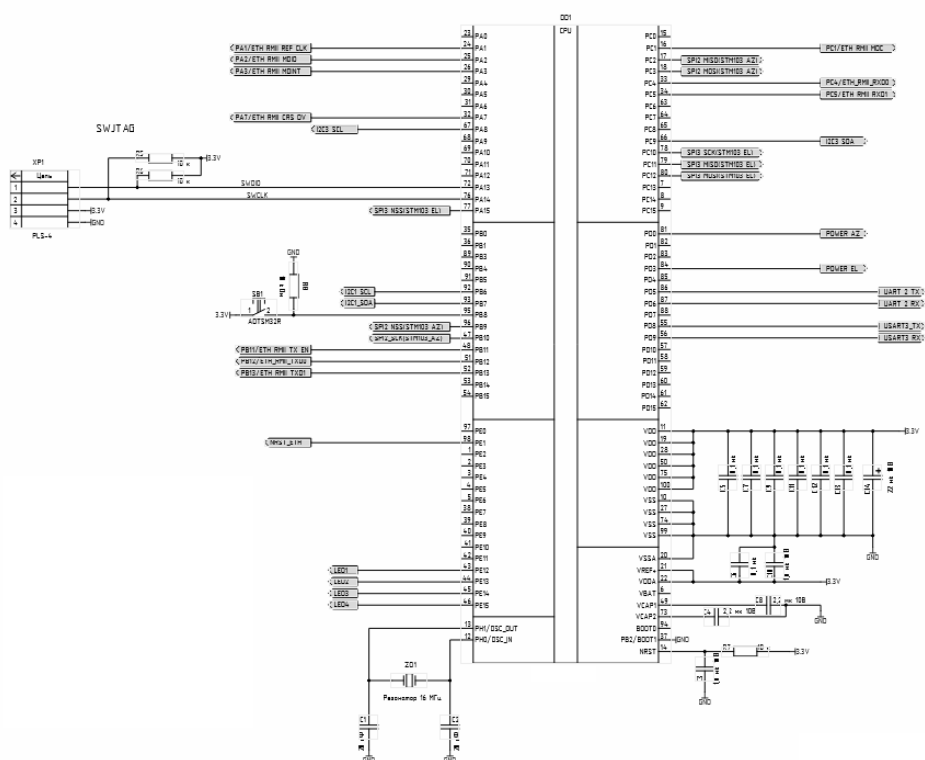
Приведем описание двухпроцессорной структуры управления.

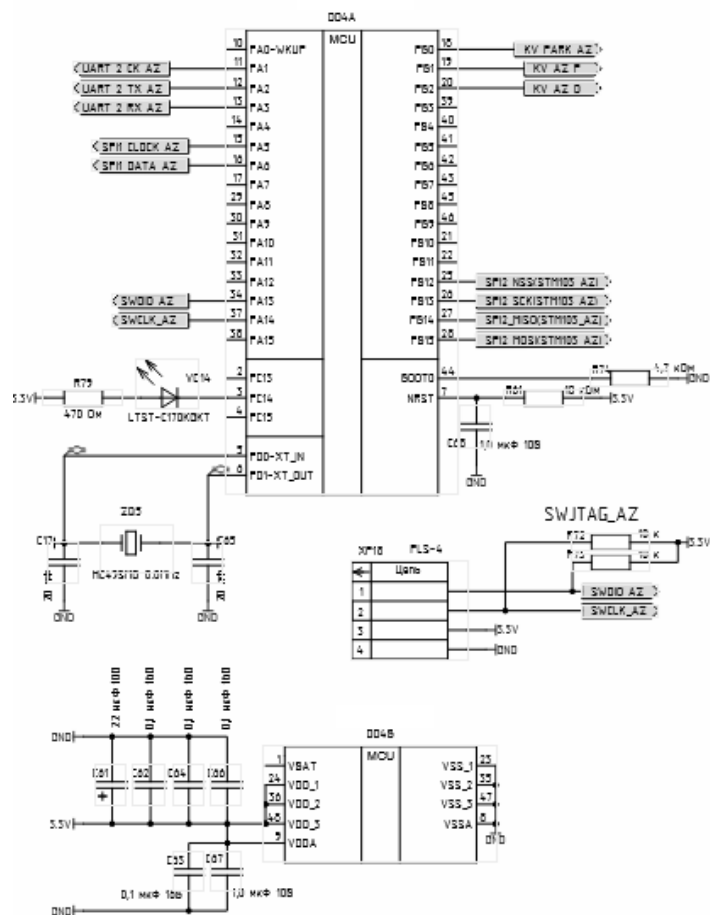
Вычислительное ядро выполнено на микроконтроллере №1, представляющем собой 32-битный микроконтроллер (например, STM32F4xx или аналогичный) – см. рисунок 1. Этот микроконтроллер отвечает за решение прямых и обратных задач кинематики, в нем реализован наблюдатель состояния и выбранный критерий построения идентификатора, на основе анализа сформированной для трех идентифицируемых параметров функции Ляпунова с целью оценки устойчивости и сходимости оценки потокоцепления и скорости двигателя на фоне изменения активных сопротивлений схемы замещения асинхронной машины [3], [4].

Периферийное ядро на микроконтроллере №2 (например, STM32F1xx) представлено на рисунке 2. Второй микроконтроллер специализируется на формировании ШИМ-сигналов и непосредственном управлении ПЧ.

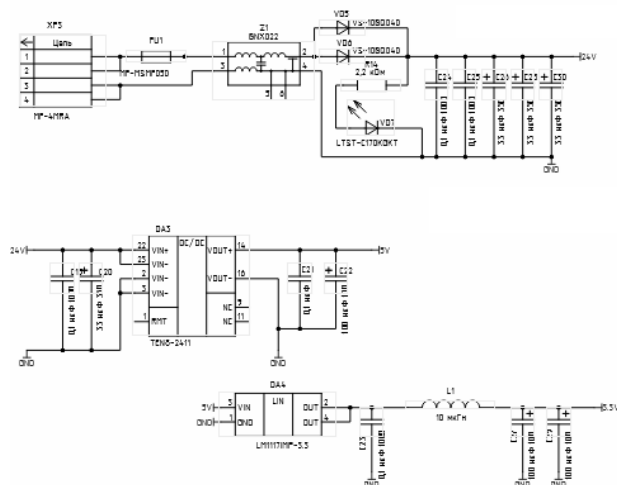
Взаимодействие между микроконтроллерами №1 и №2 происходит через интерфейс SPI.

Для отладки и прошивки микроконтроллера предусмотрен разъем JTAG (или SWD), что позволяет использовать внутрисхемные отладчики. Остальные разъемы, выведенные на периферию, служат для подключения внешних устройств (датчиков, ключей) и организации связи по интерфейсам UART, SPI или I²C.





На рисунке 3 показана схема питания платы управления.



Представленный фрагмент на рисунке 4 содержит два идентичных канала промышленной связи, выполненных на микросхемах ADM0712E. Это трансиверы стандарта RS-485/RS-422 со встроенной гальванической изоляцией (цифровыми изоляторами). Интерфейсные микросхемы (ADM0712E) переводят сигналы логических уровней (3.3V или 5V) микроконтроллера в дифференциальные сигналы стандарта RS-485 (линии А и В) и обратно.

Гальваническая развязка обеспечивают изоляцию между цепями контроллера (сторона VCC/GND) и внешним интерфейсом (сторона питания, подводимого к разъемам XP15/XP12). Это защищает дорогую управляющую электронику от пробоя при высоких потенциалах или импульсных помехах на длинных линиях связи. На линиях дифференциальной пары А и В каждого канала установлены резисторы R39 и R40 (номиналом 120 Ом). Это стандартные оконечные (терминирующие) резисторы, которые подключаются для согласования волнового сопротивления витой пары и подавления отражений сигнала на концах длинной линии. Конденсаторы служат для фильтрации высокочастотных помех.

Данная схема реализует два гальванически развязанных канала связи RS-485. В контексте разработки печатной платы для бездатчикового электропривода такие узлы критически важны для организации помехозащищенной связи с ПЧ. Наличие терминирующих резисторов и фильтров подчеркивает ориентацию на работу в условиях промышленных помех.

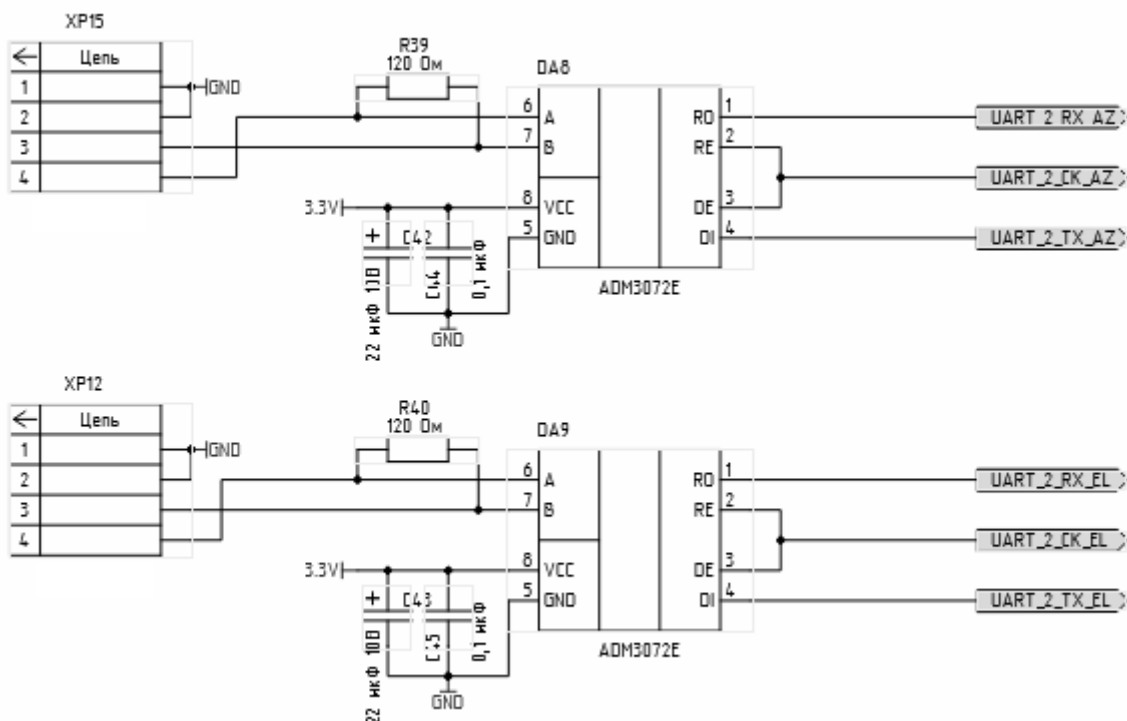


Рисунок 4 – Канал связи RS-485

Рациональное проектирование печатной платы с учетом разделения функционала по вычислительным мощностям и топологии заземления позволяет реализовать сложные бездатчиковые алгоритмы определения скорости и положения ротора машин переменного тока (в том числе на основе теории функций Ляпунова [3 – 5]) с высокой точностью, приближающейся к системам с механическими датчиками, но без их недостатков. Аппаратная реализация, описанная в статье, создает необходимые условия для сходимости наблюдателей и устойчивости электропривода в целом.

Литература

- [1]. Vas, P. *Sensorless Vector and Direct Torque Control*. Oxford University Press, 1998.
- [2]. Вейцман В. М. Проектирование информационных систем : учебное пособие для вузов / В. М. Вейцман. 2-е изд., стер. СПб : Лань, 2022. 316 с. ISBN 978-5-8114-9982-3. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/208946> (дата обращения: 25.09.2023). Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [3]. Бездатчиковое управление асинхронными двигателями: учебное пособие / Под ред. А.И. Леонова. – М.: Энергоатомиздат, 2010.
- [4]. Рожков В.В., Федотов В.В. Имитационное моделирование адаптивного идентификатора скорости асинхронного двигателя агломерационной машины // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 6. С. 36–55. DOI: 10.37791/2687-0649-2022-17-6-36-55
- [5]. Glumineau, A., & de León Morales, J.. *Sensorless AC Electric Motor Control: Robust Advanced Design Techniques and Applications*. Springer International Publishing. (Advances in Industrial Control), 2015.

**В.В. Федотов, асп., рук. В.В. Рожков, к.т.н., доцент
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске**

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХКЛЮЧЕВОГО ТРАНЗИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ²

Технологические процессы диктуют режимы работы электротехнического оборудования. В ряде случаев для изменения режима работы электротехнического оборудования необходимо прибегнуть к изменению напряжения питания установки. Для этого на практике используют различные топологии силовых электрических схем. В настоящей статье рассматривается одна из таких топологий, представленная на рисунке 1 – трехфазный трехключевой транзисторный выпрямитель [1], [2].

Рассматриваемая схема позволяет регулировать уровень выходного напряжения в широком диапазоне и с высокой точностью. Одной из проблем этой схемы является обоснованный выбор реактивных элементов, от которого зависят режимы работы всей электрической схемы.

Целью настоящей статьи является анализ возможных динамических процессов, происходящих в электрической схеме с использованием

² Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта государственного задания № FSWF-2026-0010.

математического аппарата теории электрических цепей, дифференциального исчисления и других разделов электротехники и высшей математики.

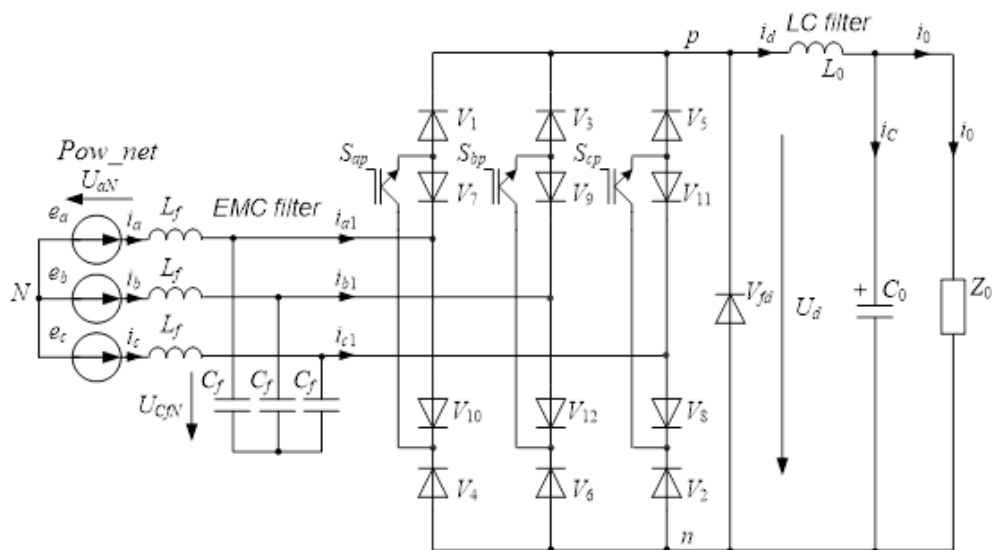


Рисунок 1 – Электрическая схема трехфазного трехключевого транзисторного выпрямителя

Для достижения поставленной цели схема рисунка 1 упрощена до эквивалентной электрической схемы, представленной на рисунке 2. Входная трехфазная сеть со входным электрическим фильтром и транзисторным выпрямителем рисунка 1 заменена на источник постоянного напряжения, показанный на рисунке 2. Для получения объективной картины режимов работы электрической схемы в качестве нагрузки рассматривается типовая активно-индуктивная.

Электрической схеме рисунка 2 свойственны два основных режима работы, формирующихся при замыкании и при размыкании ключа К. При замкнутом ключе К происходит заряд ёмкости С и потребление мощности от сети нагрузкой. При размыкании ключа происходит передача мощности от ёмкости С к нагрузке. В настоящей статье рассматривается только первый режим работы, при необходимости второй режим анализируется по аналогии с описанными ниже рассуждениями.

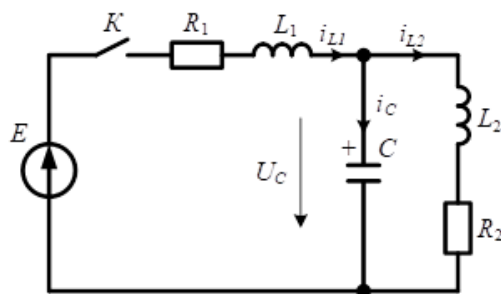


Рисунок 2 – Упрощенная силовая схема трехфазного трехключевого транзисторного выпрямителя

Параметром наблюдения рассматриваемой схемы является выходное напряжение. Закон изменения выходного напряжения на нагрузке соответствует зависимости напряжения на конденсаторе. Но процессы заряда и разряда конденсатора во многом зависят от выбранных параметров электрической схемы. О том, какие процессы могут протекать в рассматриваемой схеме, можно сказать, получив математическое описание схемы рисунка 2.

Для анализа процессов, происходящих на конденсаторе, рассмотрим схему с точки зрения переходных процессов. Для этого определим независимые начальные условия, исходя из того, что ключ К разомкнут:

$$\begin{cases} U_{C(0-)} = U_{C(0+)} = 0 \text{ В}, \\ i_{L1(0-)} = i_{L1(0+)} = 0 \text{ А}, \\ i_{L2(0-)} = i_{L2(0+)} = 0 \text{ А}. \end{cases} \quad (1)$$

Для определения полных токов и напряжений запишем уравнения Кирхгофа для схемы рисунка 2:

$$\begin{cases} i_{L1} + i_{L2} + i_C = 0, \\ i_{L1} \cdot R_1 + U_{L1} + U_C = E, \\ i_{L2} \cdot R_2 + U_{L2} = U_C. \end{cases} \quad (2)$$

В связи с тем, что рабочий режим работы схемы рассматривается в случае, когда происходит передача энергии от источника к нагрузке и осуществляется заряд конденсатора, то принужденные составляющие будут иметь вид:

$$\begin{cases} i_{L1\text{пр}} = i_{L2\text{пр}} = \frac{E}{R_1 + R_2}, \\ U_{C\text{пр}} = i_{L2\text{пр}} \cdot R_2 = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \end{cases} \quad (3)$$

Характеристическое уравнение, описывающее поведение электрической схемы, имеет вид:

$$Z(p) = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot C \cdot p^3 + (R_1 \cdot L_2 \cdot C + L_1 \cdot R_2 \cdot C) \cdot p^2 + (R_1 \cdot R_2 \cdot C + L_1 + L_2) \cdot p + R_1 + R_2}{L_2 \cdot C \cdot p^2 + R_2 \cdot C \cdot p + 1}. \quad (4)$$

Полученное характеристическое уравнение является уравнением третьего порядка и решение, соответственно, будет иметь три корня. Для удобства математического анализа вводятся вспомогательные переменные:

$$\begin{cases} a = L_1 \cdot L_2 \cdot C, \\ b = R_1 \cdot L_2 \cdot C + L_1 \cdot R_2 \cdot C, \\ c = R_1 \cdot R_2 \cdot C + L_1 + L_2, \\ d = R_1 + R_2. \end{cases} \quad (5)$$

С принятыми обозначениями можно записать кубическое уравнение общего вида:

$$a \cdot p^3 + b \cdot p^2 + c \cdot p + d = 0. \quad (6)$$

Решение кубического уравнения можно получить с использованием формулы Кардано. Для приведения кубического уравнения к каноническому виду вводим переменную:

$$p = y - \frac{b}{3 \cdot a}.$$

Подставив и упростив, получаем кубическое уравнение в каноническом виде:

$$\begin{cases} y^3 + z \cdot y + q = 0, \\ z = \frac{3 \cdot a \cdot c - b^2}{3 \cdot a^2}, \\ q = \frac{2 \cdot b^3 - 9 \cdot a \cdot b \cdot c + 27 \cdot a^2 \cdot d}{27 \cdot a^3}. \end{cases} \quad (7)$$

Для дальнейшего анализа характера протекания процессов необходимо найти переменную Q в ситуациях $>$, $=$ или < 0 и по таблице 1 определить функцию изменения свободной составляющей дифференциального уравнения:

$$Q = \left(\frac{z}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2. \quad (8)$$

Таблица 1 – Поведение свободной составляющей дифференциального уравнения

Q	p_1, p_2, p_3	$U_{\text{св}}(t)$
> 0	$\begin{cases} p_1 \in R \\ p_2 = \alpha + j \cdot \beta \\ p_3 = \alpha - j \cdot \beta \end{cases}$	$A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + e^{\alpha \cdot t} \cdot (A_2 \cdot \cos(\beta \cdot t) + A_3 \cdot \sin(\beta \cdot t))$
$= 0$	$\begin{cases} p_1 \in R \\ p_2 \in R \\ p_3 \in R \\ p_1 = p_2 \vee p_1 = p_3 \vee p_2 = p_3 \\ \text{или} \\ p_1 = p_2 = p_3 \end{cases}$	$e^{p_{12} \cdot t} \cdot (A_1 + A_2 \cdot t) + A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t}$ или $e^{p_{123} \cdot t} \cdot (A_1 + A_2 \cdot t + A_3 \cdot t^2)$

< 0	$\begin{cases} p_1 \in R \\ p_2 \in R \\ p_3 \in R \\ p_1 \neq p_2, p_1 \neq p_3, p_2 \neq p_3 \end{cases}$	$A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t}$

Анализ таблицы 1 показывает, что существует риск подбора элементов схемы таким образом, когда происходит колебательный характер заряда и разряда конденсатора (при $Q > 0$). При $Q \leq 0$ характер заряда и разряда конденсатора носит апериодический характер. Такой характер процессов предпочтителен для работы рассматриваемой схемы, поэтому дальнейший вывод уравнения, описывающего поведение конденсатора в рабочем режиме схемы, будет проводиться именно для случая при $Q < 0$.

Корни кубического уравнения для всех случаев, независимо от Q , в канонической форме имеют вид:

$$\begin{cases} y_1 = \alpha + \beta, \\ y_2 = -\frac{\alpha + \beta}{2} + j \cdot \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \sqrt{3}, \\ y_3 = -\frac{\alpha + \beta}{2} - j \cdot \frac{\alpha - \beta}{2} \cdot \sqrt{3}, \\ \alpha = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \\ \beta = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}}. \end{cases} \quad (9)$$

При $Q < 0$ уравнение, описывающее процесс его заряда, имеет вид:

$$U_{C(0+)}(t) = U_{\text{сnp}}(t) + U_{\text{ссв}}(t) = \frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2} + A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t}.$$

Для поиска свободных коэффициентов используется следующая система уравнений:

$$\begin{cases} U_{\text{ссв}} = A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t} = -\frac{E \cdot R_2}{R_1 + R_2}, \\ \frac{dU_{\text{ссв}}}{dt} = p_1 \cdot A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + p_2 \cdot A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + p_3 \cdot A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t} = 0, \\ \frac{d^2 U_{\text{ссв}}}{dt^2} = p_1^2 \cdot A_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + p_2^2 \cdot A_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} + p_3^2 \cdot A_3 \cdot e^{p_3 \cdot t} = 0. \end{cases}$$

Откуда при $t = 0$ можно выразить искомые коэффициенты A_1, A_2, A_3 :

$$\begin{cases} A_1 = -\frac{E \cdot R_2 \cdot p_2 \cdot p_3}{R_1 \cdot p_1^2 + R_2 \cdot p_1^2 - R_1 \cdot p_1 \cdot p_2 - R_1 \cdot p_1 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_1 \cdot p_2 + R_1 \cdot p_2 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_1 \cdot p_3 + R_2 \cdot p_2 \cdot p_3}, \\ A_2 = -\frac{E \cdot R_2 \cdot p_1 \cdot p_3}{R_1 \cdot p_2^2 + R_2 \cdot p_2^2 - R_1 \cdot p_1 \cdot p_2 + R_1 \cdot p_1 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_1 \cdot p_2 - R_1 \cdot p_2 \cdot p_3 + R_2 \cdot p_1 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_2 \cdot p_3}, \\ A_3 = -\frac{E \cdot R_2 \cdot p_1 \cdot p_2}{R_1 \cdot p_3^2 + R_2 \cdot p_3^2 + R_1 \cdot p_1 \cdot p_2 - R_1 \cdot p_1 \cdot p_3 + R_2 \cdot p_1 \cdot p_2 - R_1 \cdot p_2 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_1 \cdot p_3 - R_2 \cdot p_2 \cdot p_3}. \end{cases}$$

Для случая, когда $Q = 0$ или $Q > 0$ эти уравнения не справедливы, т.к. свободная составляющая будет изменяться по другому закону, в соответствии с таблицей 1. Для качественного регулирования напряжения следует выбирать компоненты так, чтобы значение $Q < 0$, тогда процесс будет иметь апериодический характер, и система будет более предсказуемой.

Выводы.

В статье получены уравнения, которые необходимы для решения оптимизационной задачи по выбору реактивных элементов выходного фильтра схемы трехфазного трехключевого транзисторного выпрямителя, исходя из заранее известной нагрузки. Завышение, как и занижение параметров схемы может негативно сказаться на качестве регулирования, и схема может вместо работы с апериодическим характером протекания процессов перейти в колебательный. Кроме того, выбор элементов напрямую связан с быстродействием регулирования напряжения. Поэтому наличие подобного расчета с использованием примененного математического аппарата, описывающего поведение схемы, позволит правильно подойти к вопросу выбора компонентов и, как следствие, обеспечить качественное регулирование напряжения с высокими быстродействием и точностью.

Литература

- [1]. Nussbaumer, Thomas (2007) "Comprehensive Design of a Three-Phase Three-Switch Buck-Type PWM Rectifier," IEEE Transactions on Power Electronics. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). doi: 10.1109/TPEL.2006.889987.
- [2]. J. W. Kolar and T. Friedli, "The Essence of Three-Phase PFC Rectifier Systems—Part I," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 1, pp. 176-198, Jan. 2013, doi: 10.1109/TPEL.2012.2197867.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы – на примере конкретного синхронного двигателя (СД) провести анализ его перегрузочной способности и установить связь между развиваемым моментом и температурой якорной обмотки для определения длительно допустимой нагрузки с учетом тепловых ограничений.

Перегрузочная способность является одной из важнейших характеристик электрических двигателей переменного тока. Она определяет максимальный момент, который способен развить двигатель без потери устойчивости [1]. Однако паспортные данные значения кратности максимального момента ($M_{\max}/M_{\text{ном}}$) характеризуют лишь кратковременную перегрузку. В реальных условиях длительной эксплуатации основным ограничением выступает нагрев изоляции обмоток, зависящий от среднеквадратичного тока нагрузки [2]. Объектом исследования был выбран СД с явнополюсным ротором, рассчитанный в рамках курсового проекта.

Перегрузочная способность влияет на:

- возможность работы при кратковременных перегрузках. СД может кратковременно развивать момент, превышающий номинальный, в течение короткого времени, что важно для механизмов с переменными нагрузками.
- устойчивость работы. Если момент сопротивления на валу превышает $M_{\max}$, двигатель «выпадает из синхронизма» – ротор затормаживается до полной остановки. Перегрузочная способность определяет предел устойчивости, до которого СД может сохранять стабильную работу при увеличении нагрузки.
- тепловые нагрузки. Кратковременные перегрузки не приводят к значительному нагреву двигателя, так как температура не успевает существенно измениться за короткий период. Однако длительная работа в режиме перегрузки может привести к перегреву и выходу из строя.

Основным способом регулирования перегрузочной способности является изменение тока возбуждения. Увеличение этого тока приводит к росту ЭДС возбуждения фазы обмотки якоря СД (E_0), что увеличивает максимальный момент $M_{\max}$. [3].

Основная составляющая электромагнитного момента СД, зависящая от тока возбуждения определяется следующим образом:

$$M_{\text{эм}} = \frac{mUE_0}{X_d} \sin \theta$$

где: m – число фаз; U – фазное напряжение обмотки якоря; E_0 – ЭДС, индуцируемая в обмотке якоря током возбуждения; X_d – синхронное

индуктивное сопротивление обмотки якоря по продольной оси; θ - угол между ЭДС E_0 и напряжением U (угол нагрузки).

Максимальный момент достигается при $\theta \approx 90^\circ$.

Стоит различать два понятия:

- кратковременная перегрузочная способность, определяемая максимальным моментом по условиям устойчивой работы СД без нарушения синхронного вращения;
- длительно допустимая нагрузка, определяемая максимальным моментом, при котором температура обмоток не превышает предельных значений для данного класса изоляции.

В данной статье на примере СД мощностью 132кВт, проводится анализ влияния момента нагрузки на превышение температуры обмотки якоря. В результате проведенных исследований выявлено, что тепловое ограничение наступает значительно раньше, чем потеря устойчивости, что необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации.

Основные параметры двигателя, рассчитанные в соответствии с [4, 5], приведены в табл. 1

Таблицы 1 – Расчетные данные двигателя

Параметр	Значение
P_2 , кВт	132
$U_{ном}$, В	380
$n_{ном}$, об/мин	600
η , %	92
$\cos\varphi$	0,9
$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	1,86
X_d^*	1,17
X_q^*	0,762
$\Delta\theta_{пред}$, °С	80
$\Delta\theta_{ном}$, °С	46

Результаты проведенных расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов.

M^*	0,6	0,8	1,0	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,86
$\Delta\theta$, °С	21,1	30,5	46,0	63,1	72,8	83,3	94,6	107,5	121,8	137,5	146,2

На рисунке 1 представлена зависимость превышения температуры якорной обмотки СД $\Delta\theta$ от относительного значения момента нагрузки M^* .

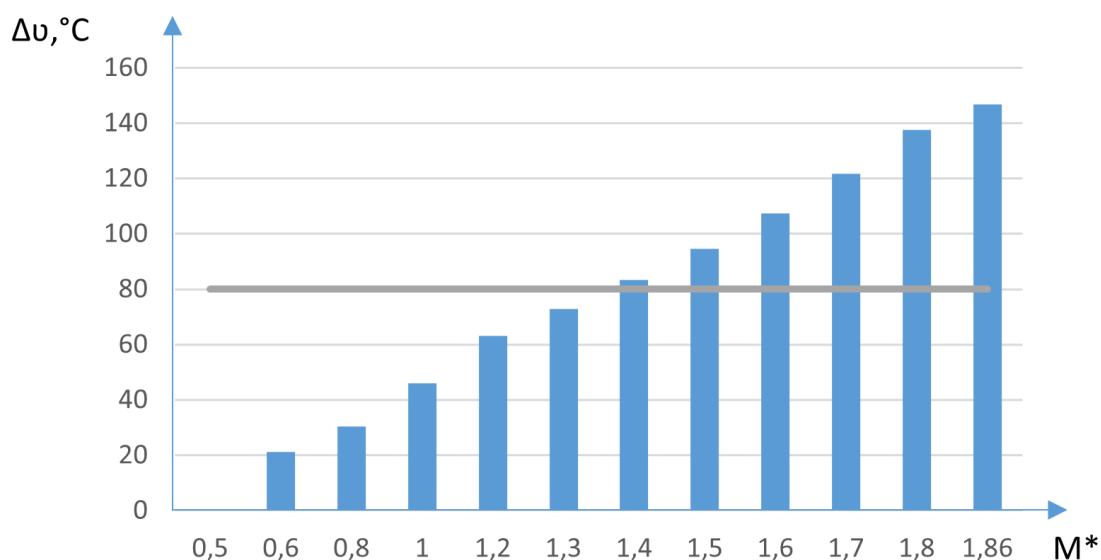


Рисунок 1 – Гистограмма зависимости превышения температуры обмотки якоря от нагрузки

Для изоляции класса нагревостойкости В предельно допустимое превышение температуры составляет 80°C (при температуре охлаждающей среды 40°C предельная температуры обмотки 120°C) [6].

Из табл. 2 видно, что при номинальной нагрузке превышение температуры обмотки якоря составляет 46,0°C, что обеспечивает запас по температуре в 34 °C. Однако при $M^*=1,4$ $\Delta\theta$ превышает допустимый предел по температуре.

Исходя из данных табл.1 и гистограммы зависимости температуры якорной обмотки от момента нагрузки на валу, видно, что коэффициент перегрузки K_m СД по моменту равен 1,86, однако его длительная работа при перегрузках допускается только при значениях $K_m \leq 1,35$. Вследствие превышения допустимого значения, работа в таком режиме недопустима, так как это приведет к превышению предельно допустимой температуры обмоток, нарушению изоляции и выходу двигателя из строя.

В результате проведенных исследований показано, что:

- длительно допустимый момент нагрузки составляет $1,35M_{ном}$, чему соответствует превышение температуры 78 °C;
- максимальный момент по условиям устойчивости (1,86) не может быть реализован длительно из-за недопустимого перегрева обмотки статора исследуемого СД.

Проведенный анализ показал, что, несмотря на способность исследуемого СД развивать момент 1,86 от номинального без потери устойчивости, его перегрузочная способность ограничена нагревом обмоток. Следовательно, основным критерием при работе электродвигателя с перегрузкой в длительном режиме работы должна служить не статическая перегружаемость СД, а тепловое состояние машины.

Однако необходимо помнить, что постоянная работа СД с перегрузкой даже с допустимой температурой обмоток, неблагоприятно сказывается на других

выходных параметрах электродвигателя, например, коэффициенте полезного действия, и оказывает существенное влияние на срок службы двигателя в целом.

Литература

- [1]. Сипайлов Г. А. Электромеханические процессы в электрических машинах переменного тока / Г. А. Сипайлов, А. В. Лоос. – Москва: Энергия, 2020. – 216 с. – ISBN 978-5-283-04567-8.
- [2]. Беспалов В. Я. Электрические машины. Том 2. Машины переменного тока: учебник для вузов / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. – Москва: Academia, 202. – 320 с. – ISBN 978-5-4468-1345-6.
- [3]. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 430 с.
- [4]. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; под ред. И.П. Копылова. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш.шк., 2002. – 757 с.
- [5]. Божин Ю.М., Максимкин В.Л. Проектирование синхронного двигателя: Методические указания к курсовому проекту по курсу «Проектирование электрических машин». Смоленск: РИО филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, 2021. 36с.
- [6]. Федоров М. М. Математическое моделирование перегрузочных режимов синхронных двигателей / М. М. Федоров, Е. А. Соколова // Известия вузов. Электромеханика. – 2022. – Т. 65, № 4. – С. 55–62

*Д. А. Шулакова, маг.; рук. В. Л. Максимкин, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Существуют различные подходы для анализа процессов преобразования энергии в электрических машинах. Наиболее эффективным считается подход, основанный на теории поля и теории цепей. Объединение двух фундаментальных методов позволяет определить напряжения, токи, моменты, потери и другие электрические параметры на основе картины поля в воздушном зазоре электрического преобразователя [1].

Основой для расчета электромагнитного поля являются уравнения Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \\ \operatorname{rot} \vec{H} &= \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho, \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0. \end{aligned}$$

Уравнения представляют собой обобщенные уравнения, описывающие процессы, происходящие в электромагнитном поле.

В настоящее время всё более используемым методом расчета электромагнитных полей становится метод конечных элементов. Данный метод заключается в разбиении исследуемой области на конечные элементы, соединённые в узлах. Для каждого элемента подбираются аппроксимирующие функции, а локальные уравнения объединяются в общую систему, решение

которой даёт значения искомой величины (напряжённости поля, потенциала и т.д.) в узлах сетки.

Среди компьютерных программ, реализующих расчеты на базе метода конечных элементов, большое распространение получила программа FEMM. Основными ее достоинствами являются общедоступность и понятный интерфейс.

Кроме того, программа поддерживает скрипты на языке Lua – это позволяет автоматизировать многовариантные расчёты (например, при изменении токов, геометрии или положения ротора) и извлекать ключевые параметры: магнитную индукцию, электромагнитный момент, потокосцепление и т.д.

В качестве примера использования LUA-скриптов в исследовании синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) был рассмотрен способ оптимизации размеров магнитной системы.

Начало работы заключается в создании, сохранении файла и изменении его параметров. Для этого открывается первоначальное окно программы FEMM, а затем консоль LUA, рис. 1.

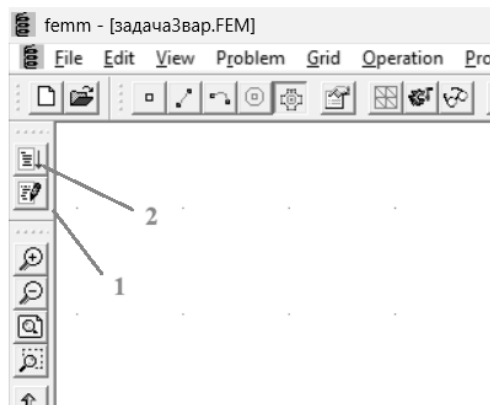


Рисунок 1 – Начало работы с LUA-сценарием (1 – ввод/вывод LUA-сценария, 2 – загрузка LUA-сценария)

LUA-сценарий реализуется с помощью соответствующего набора команд, указанных в руководстве по эксплуатации [2]. Сам сценарий удобнее записывать в текстовом редакторе. Как пример, на рис. 2 приведен фрагмент скрипта для начала программы работы с использованием команд соответственно для создания файла, сохранения файла и задания параметров.

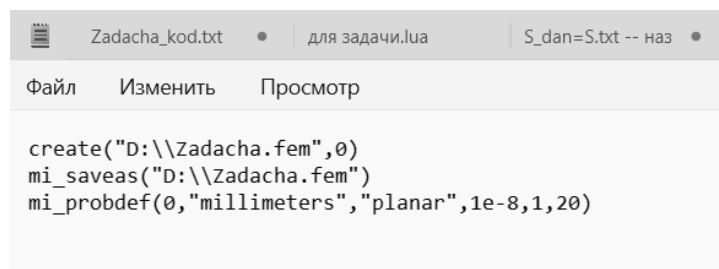


Рисунок 2 – Начало LUA-сценария

Затем необходимо задать граничные условия и свойства сред с помощью команд `mi_addboundprop` и `mi_addmaterial`. В рассматриваемом случае были заданы следующие материалы: воздух, сталь 2013, постоянный магнит из сплава NdFeB, а также начальные и конечные стороны катушечных групп по фазам.

Затем были проведены геометрические построения, для которых были заданы исходные данные, полученные в ходе проектирования СДПМ, а именно размеры статорного узла. Для этого применялись команды: `mi_addnode` (построение точки в определенной координате), `mi_addarc` (построение дуги), `mi_addsegment` (добавление сегмента). По итогу работы LUA - программы была сформирована модель поперечного сечения СДПМ, представленная на рис. 3.

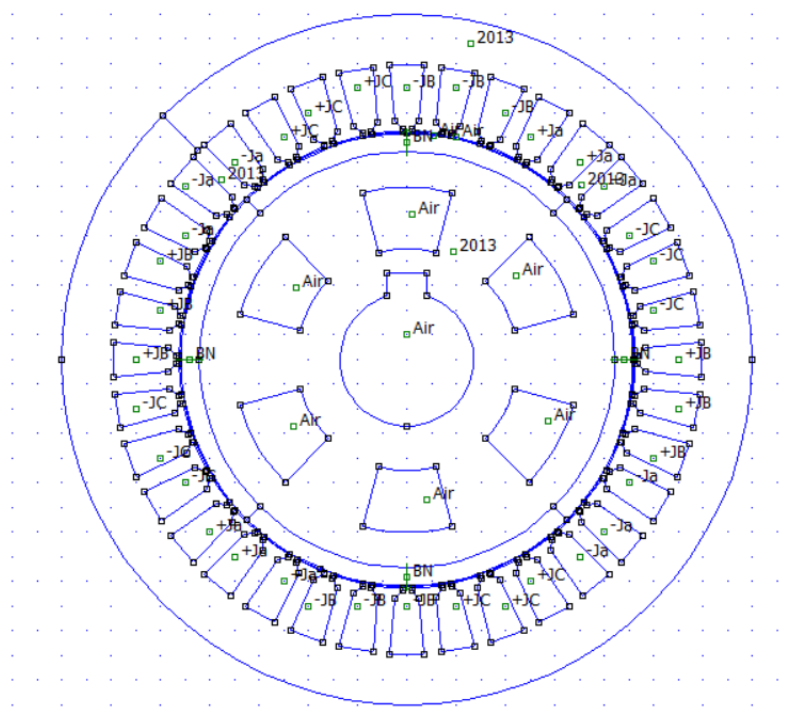


Рисунок 3 – Сформированная магнитная система СДПМ в программе FEMM

Таким образом, при изменении геометрии исследуемой магнитной системы возможно проведение оптимизационного расчета магнитного поля, так как изменение исходных данных в скрипте автоматически запускает перестройку модели и новый вычислительный цикл, что значительно сокращает время исследования.

Литература

- [1]. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов. – Высшая школа, 2001.
- [2]. Meeker D. Finite Element Method Magnetics. Version 4.2. User's Manual / David Meeker. – 30 January 2018. – электронный ресурс.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Исследование относится к области эксплуатации и управления синхронных двигателей с постоянными магнитами (СДПМ). При этом определяющим фактором частотного пуска и частотного регулирования СДПМ является стационарная частота вращения, на которую выходит электродвигатель в результате переходного процесса. В данной работе обсуждаются вопросы формирования стационарных точек для частотного пуска и регулирования СДПМ.

Синхронные двигатели с постоянными магнитами обладают рядом достоинств, среди которых повышенная надежность, быстродействие и нетребовательность к уровню эксплуатации. Вместе с тем электропривод с СДПМ предполагает наличие специальной системы управления для реализации синхронизма при всех частотах вращения ротора.

Задачами исследования являются:

- определение способа реализации частотного пуска СДПМ.
- определение способа реализации частотного регулирования СДПМ.

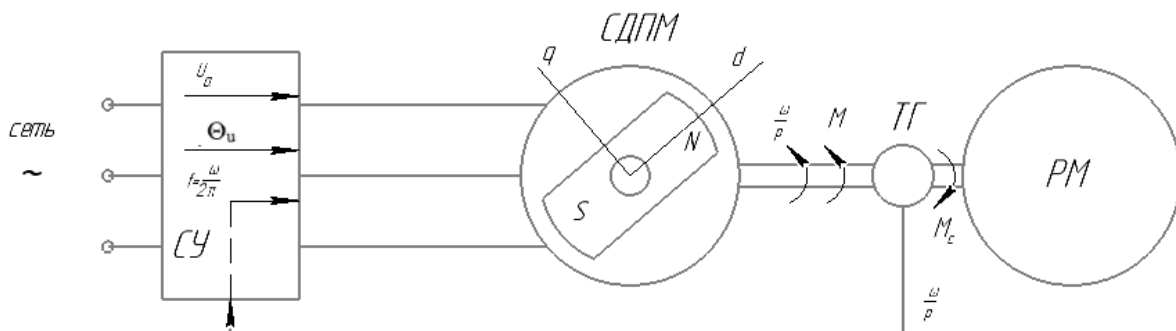


Рисунок 1 – Электрический привод с синхронным двигателем с постоянными магнитами

Электропривод с СДПМ показан на рис. 1. Он состоит из системы управления (СУ), синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ), тахогенератора (ТГ), задающего обратную связь в СУ по частоте вращения и рабочей машины (РМ), создающей нагрузку на валу двигателя.

В соответствии с поставленными задачами для организации частотного пуска и частотного управления необходимо на СУ сформировать частоту питания f , задать фазовый угол θ_u вектора напряжения по отношению к оси q ротора, амплитуду питающего напряжения U_a . При этом момент нагрузки рабочей машины M_c является заданным.

На рис. 2 показана векторная диаграмма СДПМ. На диаграмме показаны вектор напряжения U_a , вектор тока якоря I и ЭДС реакции якоря для

фиксированной частоты вращения ротора ω . Что касается величины нагрузки, то она отображена косвенно с помощью угла нагрузки θ_U . Связь между моментом нагрузки M_c и углом θ_U задается посредством угловых характеристик $M_c(\theta_U)$. На диаграмме показан также эквивалентный вектор тока постоянного магнита I_f и его ЭДС в обмотке якоря $jX_{ad}I_f\omega$.

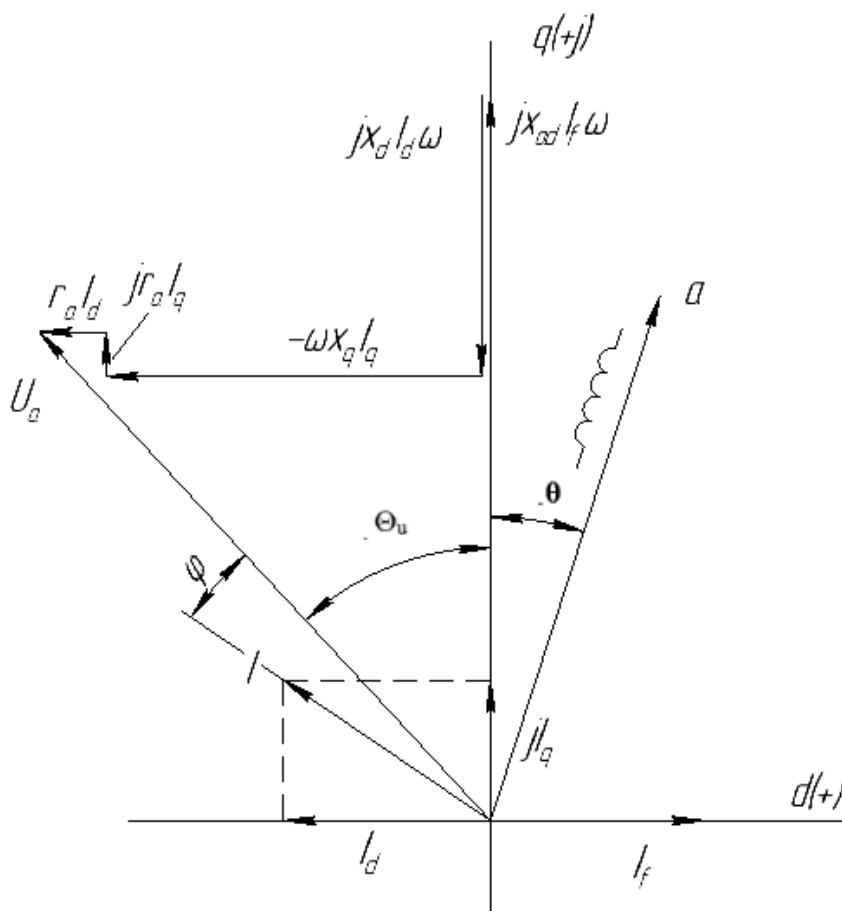


Рисунок 2 – Векторная диаграмма синхронного двигателя

Особенностью построенной диаграммы является то, что она отражает состояние СДПМ при произвольной стационарной частоте вращения ω . На рис. 2 показана также ось фазы «а» обмотки статора и угол θ , задающий текущее положение оси «а» по отношению к оси «q» ротора.

На рис. 3 приведены графики текущего углового положения ротора (угол θ) и вектора питающего напряжения (угол $\theta + \theta_U$). Рис. 3(а) соответствует асинхронному вращению ротора, при котором взаимное угловое положение θ_U меняется с течением времени. Рис. 3(б) соответствует частотному пуску СДПМ, при котором взаимное угловое положение θ_U сохраняется неизменным в любой момент времени. Рис. 3(б) отображает основной принцип частотного пуска и регулирования – принцип непрерывного синхронизма. Данный принцип подразумевает синхронное вращение вектора напряжения и осей ротора в любом режиме эксплуатации как в стационарных режимах, так и в переходных процессах. Задача реализации принципа непрерывного синхронизма возлагается на СУ.

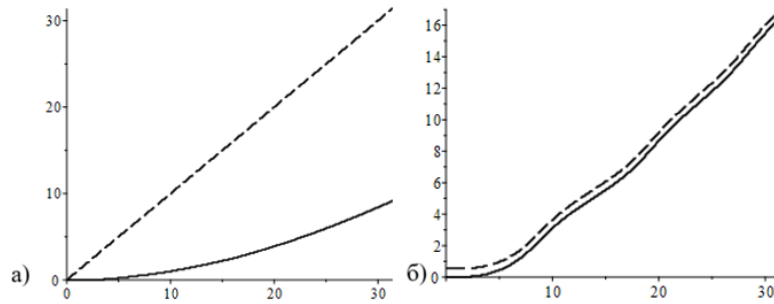


Рисунок 3 – Угловое положение вектора напряжения (пунктир) и оси q ротора (сплошная линия) (а) при асинхронном вращении, (б) при частотном пуске

СДПМ в стационарных состояниях описывается следующими уравнениями.

$$-U_a \sin \theta_u = -\omega i_q x_q + r_a i_d, \quad (1)$$

$$U_a \cos \theta_u = \omega i_d x_d + r_a i_q + \omega i_f x_{ad}, \quad (2)$$

$$M = i_f x_{ad} i_q + i_q i_d (x_d - x_q). \quad (3)$$

Уравнения (1) и (2) описывают электромагнитные состояния СДПМ, происходящие по осям d и q соответственно. Выражение (3) дает значение электромагнитного момента СДПМ, который в стационарных состояниях совпадает с моментом нагрузки M_c .

Уравнения (1) – (3) представляют собой математическую модель СДПМ для стационарных состояний. С её помощью определяются значения угла нагрузки θ_u , амплитуды напряжения U_a и частоты вращения ω для задания стационарных точек процессов пуска и управления.

По модели (1)-(3) было найдено параметрическое выражение для угловых характеристик

$$M = M_c = f(U_a, \theta_u, \omega),$$

которое для СДПМ с параметрами в относительных единицах $r_a=0.05$, $x_{ad}=1.7$, $x_d=1.8$, $x_{aq}=0.8$, $x_q=0.9$, $I_f=1.5$ принимает вид выражения, представленного на рис. 4.

$$M = - \frac{2.55 (0.1275 \omega - 1.8 \omega U_a \sin(\Theta) - 0.05 U_a \cos(\Theta))}{1.62 \omega^2 + 0.0025} + \frac{0.9 (2.295 \omega^2 - 0.9 \cos(\Theta) U_a \omega + 0.05 U_a \sin(\Theta)) (0.1275 \omega - 1.8 \omega U_a \sin(\Theta) - 0.05 U_a \cos(\Theta))}{(1.62 \omega^2 + 0.0025)^2}$$

Рисунок 4 – Выражение для угловых характеристик исследуемого СД

С использованием выражения на рис. 4 были построены угловые характеристики (рис. 5), на которых сосредоточены все стационарные состояния электродвигателя для четырех значений стационарной частоты вращения.

Предполагалось, что СУ осуществляет пропорциональное задание стационарных значений напряжения и частоты вращения. Задача управления электродвигателем состоит в выборе или смене этих стационарных состояний.

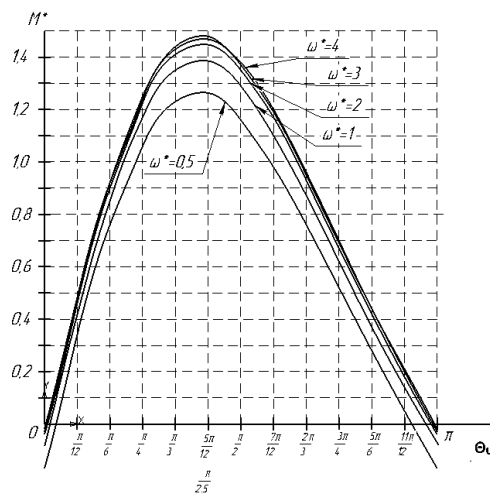


Рисунок 5 – Угловые характеристики синхронного двигателя с постоянными магнитами

Ниже приводятся примеры решения задачи организации частотного пуска и задачи частотного управления с использованием выражения на рис. 4.

ЗАДАЧА 1 – управление частотным пуском СДПМ. Способом частотного пуска осуществляется переход из состояния START1 с обесточенной обмоткой статора и неподвижным ротором в эксплуатационное состояние FINISH1, с токами в обмотке статора и некоторой заданной частотой вращения ротора ω . Задача управления частотным пуском СД состоит в поиске угла нагрузки θ_u для значений установившейся частоты вращения, напряжения и момента нагрузки, соответствующих состоянию FINISH1. В соответствии с принципом реализации частотного управления значение угла θ_u на переходе START1 -> FINISH1 сохраняется неизменным.

На рис. 6 приведен фрагмент Maple программы, реализующий вычисление параметров частотного пуска для случая стационарной частоты $\omega^*=1$ (50 об/с для двухполюсного СДПМ). Предполагалось, что момент нагрузки рабочей машины составляет 0.852 о.е.

```

[ ПАРАМЕТРЫ ЗАДАЧИ 1 Пуск на "однократно синхронную" частоту вращения
> ω := 1; Ua := 1; Mc := 0.852;
# Модуль вектора напряжения обмотки статора (якоря), частота вращения ротора и момент нагрузки

                                ω := 1
                                Ua := 1
                                Mc := 0.852
(5)

> Θ := fsolve(M = Mc, Θ);
# Определяем угол нагрузки для подстановки в модель электрохимического процесса START1 -> FINISH1
Θ := 0.5232731741
(6)

```

Рисунок 6 – Фрагмент Maple программы для реализации ЗАДАЧИ 1

ЗАДАЧА 2. Управление рабочими режимами СДПМ. Способом частотного управления осуществляется переход из одного эксплуатационного состояния START2 в другое эксплуатационное состояние FINISH2, отличающееся от состояния START2 повышенной или пониженной частотой вращения ротора. Задача управления рабочими режимами СД состоит в поиске угла нагрузки θ_u для значений установившейся частоты вращения, напряжения и момента нагрузки, соответствующих состоянию FINISH2. При этом параметры START2 совпадают с параметрами FINISH1 (см. ЗАДАЧУ 1).

На рис. 7 приведен фрагмент Maple программы, реализующий вычисление параметров частотного регулирования при переводе двигателя со стационарной частоты $\omega=1$ о.е. на стационарную частоту $\omega=2$ о.е. При этом момент нагрузки рабочей машины предполагался прежним и равным 0.852 о.е.

```

ПАРАМЕТРЫ ЗАДАЧИ 2. Переход на "двукратно синхронную" частоту вращения
>  $\omega := 2$ ;  $U_a := 2$ ;  $M_c := 0.852$ ;
# Модуль вектора напряжения обмотки статора (якоря), частота вращения ротора и момент нагрузки (момент сохранен
# прежним)

 $\omega := 2$ 
 $U_a := 2$ 
 $M_c := 0.852$ 
(11)

>  $\Theta := fsolve(M = M_c, \Theta)$ ;
# Определяем угол нагрузки для подстановки в модель электромеханического процесса START2 -> FINISH2
 $\Theta := 0.4914094411$ 
(12)

```

Рисунок 7 – Фрагмент Maple программы для реализации ЗАДАЧИ 2

По результатам исследования можно сделать следующее заключение:

1. Задачи осуществления частотного пуска и регулирования являются наиболее принципиальными задачами эксплуатации СДПМ.
2. Задачи реализуются с помощью системы управления, формирующей стационарные точки для процессов пуска и регулирования.
3. Стационарные точки сосредоточены на угловых характеристиках СДПМ, выражение для которых получено в ходе исследования.
4. Установлено, что факторами, задающими стационарную точку при заданном моменте нагрузки являются питающее напряжение, стационарная частота вращения и угол нагрузки.
5. Приведены два примера задания стационарных точек для процессов частотного пуска и частотного регулирования.

Литература

- [1]. Чуприна Н. В., Пугачев А. А. Моделирование системы векторного управления тяговым синхронным двигателем с постоянными магнитами //Электротехнические системы и комплексы. – 2022. – Т. 2. – №. 55. – С. 10-17.
- [2]. Сипайлов Г. А. и др. Электрические машины (специальный курс). – 1987.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

На данном этапе развития машиностроения исследование синхронных двигателей с постоянными магнитами является актуальной задачей. Такие электрические двигатели просты в конструкции (в отличие от синхронных двигателей общего назначения и двигателей постоянного тока у них отсутствует щеточно-скользящий узел и, в некоторых случаях, пусковая обмотка) и обладают высокими энергетическими показателями. В то же время вопрос моделирования пуска и управления является достаточно сложной технической задачей.

Для исследования электропривода на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами в зависимости от выбранной системы координат применяют следующие математические модели:

- 1) в естественной системе координат a, b, c ,
- 2) в неподвижной системе координат $\alpha\beta$, которая условно связана с неподвижным статором ($\omega_c=0$, где ω_c – частота вращения системы координат),
- 3) в системе координат dq , условно связанной с вращающимся ротором ($\omega_c=\omega_r$, где ω_r – частота вращения ротора).

В первой математической модели электродвигателя рассматривается реальная трехфазная обмотка статора.

В последних двух моделях возникает необходимость преобразования переменных трехфазной машины к переменным двухфазной модели и наоборот.

Для описания процессов составляются уравнения равновесия напряжений обмоток с использованием законов Кирхгофа и уравнения равновесия моментов на валу машины с использованием закона Ньютона. Из-за необходимости обеспечения высокой точности и простоты проводимых вычислений важно выбрать оптимальную систему координатных осей.

В естественной системе координат при питании обмотки якоря симметричным трехфазным напряжением векторы МДС фаз образуют трехлучевую звезду с чередованием фаз: a, b, c . (рис 1) [1].

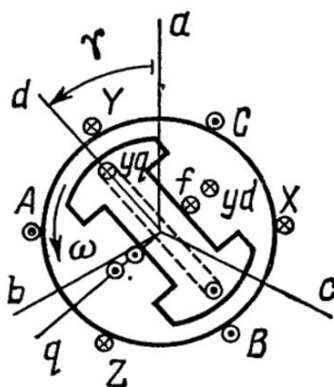


Рисунок 1 – Координатные оси электрической машины

При этом принято считать, что любая синхронная машина с постоянными магнитами конструктивно является машиной с явнополюсным ротором, поэтому указывается продольная ось d и, опережающая её на угол $\pi/2$, поперечная ось q .

Также для дальнейшего исследования за основной режим синхронной машины принимаем работу в режиме двигателя. Тогда дифференциальные уравнения равновесия напряжений имеют следующий вид:

$$U_a = \frac{d\Psi_a}{dt} + r_1 i_a, \quad (1)$$

$$U_b = \frac{d\Psi_b}{dt} + r_1 i_b, \quad (2)$$

$$U_c = \frac{d\Psi_c}{dt} + r_1 i_c, \quad (3)$$

где U_a, U_b, U_c – напряжение на зажимах обмоток соответствующих фаз, Ψ_a, Ψ_b, Ψ_c – полные потокосцепления обмоток фаз статора, i_a, i_b, i_c – полные токи обмоток фаз статора, r_1 – активное сопротивление обмотки.

В общем случае величина электромагнитного момента двигателя определяется в соответствии с выражением:

$$M = M_c + J \frac{d\omega}{dt}, \quad (4)$$

где M_c – момент нагрузки, J – момент инерции вращающихся частей электрической машины, ω – частота вращения ротора.

Достоинствами применения математической модели в естественной системе координат a, b, c являются наглядность, простота подключения к модели источников или нагрузки и учет реальной геометрии магнитной системы. К недостаткам относятся сложность вычислений ввиду большого количества дифференциальных уравнений, сложность реализации системы управления, а также переменные параметры системы дифференциальных уравнений. Поэтому исследования с использованием естественной системы координат применяют редко.

Для получения системы дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами при неизвестных используются системы координат, в которых обмотки статора и ротора неподвижны относительно друг друга.

Более применяемой на практике является неподвижная система координат α, β . Такая модель содержит в себе две обмотки на статоре и явнополюсный ротор, поле которого направлено по продольной оси синхронной машины с постоянными магнитами. (рис. 2) [2].

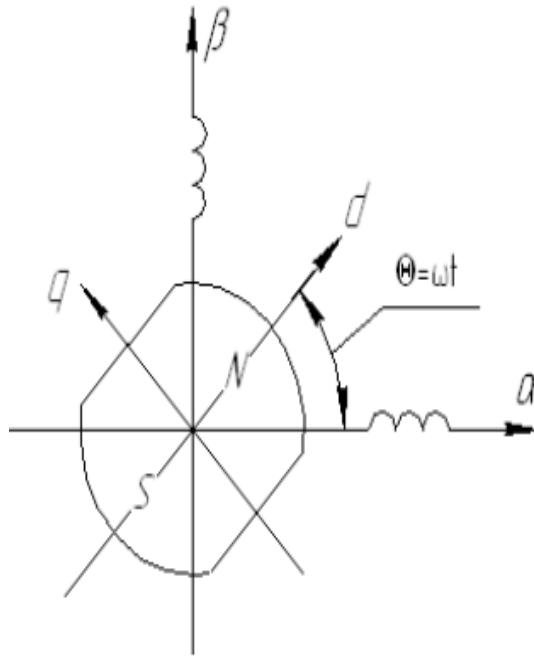


Рисунок 2 – Синхронный двигатель с постоянными магнитами в неподвижной системе координат

Уравнения равновесия напряжений для синхронного двигателя с постоянными магнитами в неподвижной системе координат, имеют вид:

$$U_{\alpha} = Ri_{\alpha} - (L_d - L_q)i_{\alpha} \sin 2\theta + \left(\frac{L_d + L_q}{2} + \frac{L_d - L_q}{2} \cdot \cos 2\theta\right) \frac{di_{\alpha}}{dt} + (L_d - L_q)i_{\beta} \omega \cdot \cos 2\theta + \frac{1}{2}(L_d - L_q) \sin 2\theta \frac{di_{\beta}}{dt} - \Phi_0 \omega \sin \theta \quad (5)$$

$$U_{\beta} = Ri_{\beta} - (L_d - L_q)i_{\beta} \cos 2\theta + \left(\frac{L_d + L_q}{2} + \frac{L_d - L_q}{2} \cdot \cos 2\theta\right) \frac{di_{\beta}}{dt} + (L_d - L_q)i_{\alpha} \omega \cdot \sin 2\theta + \frac{1}{2}(L_d - L_q) \sin 2\theta \frac{di_{\alpha}}{dt} - \Phi_0 \omega \cos \theta \quad (6)$$

где Θ - электрический угол поворота ротора относительно статора.

Уравнение движения (4) справедливо и для неподвижной системы координат, при этом выражение для электромагнитного момента:

$$M = p \frac{m}{2} \left(\frac{(L_d - L_q)}{2} \sin 2\theta (i_{\beta}^2 - i_{\alpha}^2) + (L_d - L_q) \cos 2\theta i_{\alpha} i_{\beta} + \Phi_0 i_{\beta} \sin \theta - \Phi_0 i_{\alpha} \cos \theta \right)$$

В системе координат $\alpha\beta$ взаимные индуктивности также являются функциями, зависящими от угла поворота ротора, в связи с чем необходимо учитывать механический угол поворота ротора относительно статора Θ_m :

$$\frac{d\Theta_m}{dt} = \frac{\omega}{p} \quad (7)$$

Основным достоинством использования неподвижной системы координат является уменьшение числа дифференциальных уравнений. К недостаткам относится зависимость параметров двигателя от угла поворота ротора, что делает систему нелинейной и создает сложности для аналитического решения и синтеза регуляторов.

Для моделирования синхронных машин чаще применяется система координат dq, (рис. 1)

Уравнения равновесия напряжений для синхронного двигателя с постоянными магнитами в системе координат dq, имеют вид:

$$u_d = r_a i_d + \frac{d\psi_d}{dt} - \omega \psi_q, \quad (8)$$

$$u_q = r_a i_q + \frac{d\psi_q}{dt} + \omega(\psi_d + \psi_m), \quad (9)$$

где ψ_m - потокосцепление магнитного поля, создаваемого магнитами, с обмоткой якоря.

Уравнение движения (4) также справедливо и для данной системы координат, при этом выражение для электромагнитного момента:

$$M = i_q \cdot (i_d L_d + \psi_m) - i_d i_q L_q$$

К достоинствам использования системы координат dq относятся:

устранение зависимости параметров двигателя от времени и угла поворота ротора,

простота синтеза регулятора, возможность осуществления векторного управления.

Основным недостатком является потеря физической наглядности процессов.

Таким образом, в данной работе были рассмотрены основные подходы к моделированию синхронного двигателя с постоянными магнитами. Ни одна из систем координат не является универсальной, поэтому современное проектирование электроприводов с синхронными двигателями с постоянными магнитами базируется на комбинированном подходе, исходя из цели и задач проводимых исследований.

Литература

- [1]. Сипайлов Г. А. и др. Электрические машины (специальный курс). – 1987.
- [2]. Гаврилов Р. С., Мустафаев Ю. Н. Управление синхронными машинами с постоянными магнитами: учебное пособие //СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-та. – 2019.
- [3]. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов. – Высшая школа, 2001.

ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Эксплуатационная диагностика асинхронных электродвигателей (АД) является важным элементом обеспечения надежности технологических установок, особенно в условиях непрерывного цикла производства. Широко применяемые методы диагностики по внешним признакам (спектральный анализ потребляемого тока, вибрационные и тепловые методы) позволяют выявлять ряд дефектов, однако зачастую характеризуются неоднозначностью интерпретации результатов и высокой зависимостью диагностических признаков от режима нагрузки и внешних факторов.

Альтернативой является топологический подход к диагностике АД, основанный на исследовании параметрических свойств векторного пространства электромагнитных величин и, прежде всего, его рабочей области $\alpha\beta$ [1]. В рамках данного подхода диагностический вывод формируется по реакции объекта на импульсное воздействие и по изменениям параметрической структуры активной части двигателя в процессе эксплуатации.

В простейшем виде математическая модель трехфазного АД после приведения к токам статора может быть записана как [1,2]:

$$u = Zi,$$

где $u = [u_C \ u_A \ u_B]^T$ – вектор фазных напряжений статора, $i = [i_C \ i_A \ i_B]^T$ – вектор фазных токов, Z – параметрическая матрица двигателя. Эксплуатационные изменения активной части АД (неоднородное старение, ухудшение соединений, деградация магнитной системы и т.п.) приводят к изменению элементов Z , что отражается в изменении токовых реакций на заданное тестовое воздействие.

Топологический подход [1] связывает эффективность преобразования энергии с параметрическими свойствами рабочей области $\alpha\beta$. В методе [2] рабочая область тестируется тремя воздействиями, соответствующими трем векторам импульсного напряжения, смещенным на $\frac{2\pi}{3}$ в плоскости $\alpha\beta$. Практически это реализуется последовательной коммутацией пар фаз статора.

В патенте [2] тестовое воздействие описывается импульсом в форме дельта-функции Дирака $\delta(t)$. В аппаратной реализации $\delta(t)$ аппроксимируется коротким прямоугольным импульсом напряжения длительности t_i амплитуды $2U$, параметры которого фиксируются при формировании эталонного состояния двигателя и далее должны воспроизводиться при последующих тестированиях. При достаточно малой длительности t_i форма токовой реакции определяется свойствами короткозамкнутых контуров объекта, а изменение параметров

двигателя проявляется преимущественно в амплитуде реакции, что и используется в способе [2].

Способ [2] предусматривает выполнение трех опытов внешнего цикла при неподвижном роторе. В каждом опыте одна фаза статора разомкнута, а на две другие подается тестовый импульс между фазами, соединенными последовательно-встречно.

Таблица 1 – Схема диагностических опытов

№ опыта	Соединенные фазы	Разомкнутая фаза	Амплитуды токов	Формируемый столбец G_t
1	А-В	С	i_{Am}, i_{Bm}	g_{1t}
2	В-С	А	i_{Bm}, i_{Cm}	g_{2t}
3	С-А	В	i_{Cm}, i_{Am}	g_{3t}

По результатам трех опытов формируется текущая матрица Грина G_t , элементы которой в реализации [2] являются числовыми значениями амплитуд токовых реакций. Наличие неоднородности эксплуатационных изменений фиксируется различием амплитуд, полученных по трем осям рабочей области.

Эталонная матрица Грина G_0 формируется на исправном двигателе при первом тестировании (условно $t = 0$) и сохраняется в памяти устройства вместе с параметрами импульса. Для текущего теста при сроке эксплуатации t вычисляется нормированная матрица текущих отклонений [2]:

$$\Delta G_t = \frac{1}{i_{0m}} |G_0 - G_t| ,$$

где i_{0m} – эталонная амплитуда токового сигнала. Далее выделяется максимальное отклонение:

$$\Delta_{max} = \max\{\Delta_{ij}\},$$

и вычисляются показатели:

$$v_t = \frac{\Delta_{max}}{t}, \quad \rho(t) = 1 - \frac{\Delta_{max}}{d_{max}}, \quad T_{oc} = \left(\frac{d_{max}}{\Delta_{max}} - 1 \right) t,$$

где d_{max} – предельное отклонение, определяемое эмпирически для принятия решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации.

Структурная схема разработанного прототипа устройства включает: выпрямитель, генератор импульсов, коммутатор фаз, измерительный тракт тока, состоящий из амперметра и внешнего АЦП, и вычислительный модуль на базе STM32F767ZI, обеспечивающий управление опытами, сбор измерений, расчет G_t , ΔG_t и показателей (4), а также формирование протокола диагностики.

В качестве выпрямителя можно использовать стандартный диодный мост.

Генератор импульсов должен обеспечивать:

- формирование прямоугольного импульса амплитуды $2U$ и длительности t_i с заданной повторяемостью;
- ограничение энергии импульса и/или тока для предотвращения повреждения обмоток и коммутационных элементов;
- синхросигнал (триггер) для согласования подачи импульса и измерения амплитуды.

Параметры $2U$ и t_i выбираются на этапе первичного тестирования двигателя с учетом его номинальных токов и допустимых термо- и электродинамических воздействий, после чего фиксируются как эталонные (совместно с G_0).

В качестве подобного генератора можно предложить собрать собственную цепь, состоящую из транзистора MOSFET, стоящего в цепи из двух фаз, подключенных встречно-параллельно и ограничивающего резистора. Управление MOSFET для генерации короткого импульса осуществляется микроконтроллером. В цепи также должно быть напряжение $2U$, что можно обеспечить DC-DC преобразователем.

Коммутация должна реализовывать три конфигурации из табл. 1 и обеспечивать гарантированное размыкание третьей фазы в каждом опыте. В прототипе допускается использование релейной коммутации как наиболее простой и электрически изолированной; при переходе к компактному исполнению возможна твердотельная коммутация при условии обеспечения требуемой изоляции, защиты от перенапряжений и корректной работы при импульсных режимах.

Для предотвращения ошибочных режимов вводятся аппаратные и программные блокировки, исключающие подачу импульса при неопределенном состоянии коммутации.

В качестве коммутатора можно предложить цепь, состоящую из 6 MOSFET, 3 из которых перекрывают входы обмоток, а остальные 3 соединяют между собой выходы обмоток. Управление MOSFET осуществляется микроконтроллером.

Поскольку способ [2] использует амплитуды токов, измерительный тракт ориентирован на устойчивое выделение максимума i_m в каждом опыте. Возможны два подхода:

- 1) аппроксимация формы $i(t)$ коротким прямоугольным импульсом с последующим поиском максимума в цифровом виде (цифровой peak-hold);
- 2) аналоговое выделение амплитуды (выпрямление $|i(t)|$ и схема peak-hold) с дальнейшей оцифровкой удержанного значения.

В прототипе выбран первый подход, обеспечивающий воспроизводимость измерений при наличии кратковременных импульсов. Аналоговый тракт включает датчик тока (например, шунт с усилителем) и внешний АЦП, который по интерфейсу SPI передает данные вычислительному блоку; сброс peak-hold выполняется перед каждым опытом.

Реализация peak-hold выполняется программно.

Функции вычислительного модуля включают: управление коммутацией и подачей импульса, фиксация амплитуды токовой реакции, формирование

матрицы G_t , вычисление (2)–(4), ведение журнала и обмен данными по интерфейсам связи. Вычислительная нагрузка определяется операциями над матрицами 3×3 и несколькими арифметическими выражениями; поэтому производительности STM32F767ZI достаточно, а ключевыми становятся синхронизация и надежность периферии (таймеры, SPI, DMA).

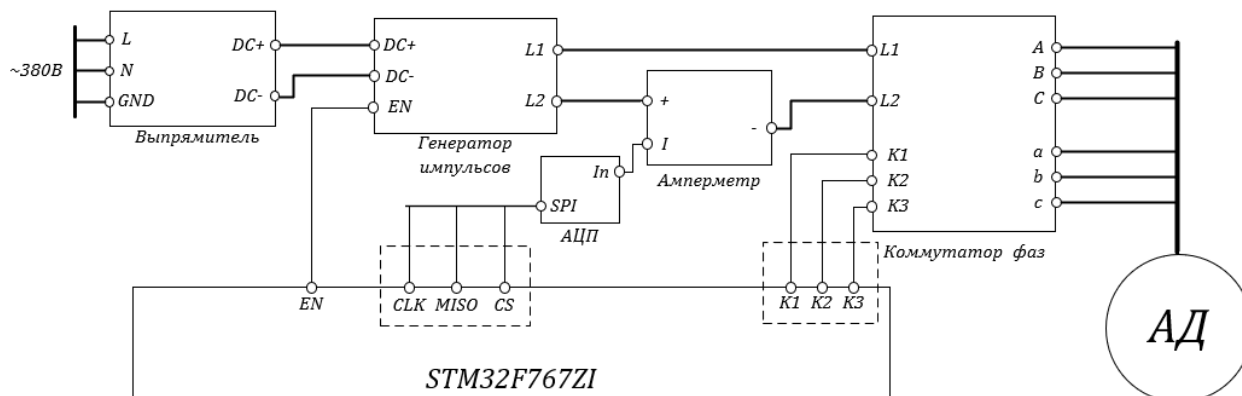


Рисунок 1 – Общая электрическая схема устройства

Алгоритм работы устройства включает следующие шаги:

1. Загрузка эталонных данных: G_0 , i_{0m} , d_{max} , параметры импульса ($2U$ и t_i).
2. Подготовка опыта: установка коммутации согласно табл. 1, сброс reacthold.
3. Подача импульса и фиксация амплитуды токов i_{Am} , i_{Bm} , i_{Cm} (в соответствующих каналах).
4. Повтор шагов 2–3 для трех опытов.
5. Формирование G_t , расчет ΔG_t , Δ_{max} , v_t , $\rho(t)$, T_{oc} .
6. Формирование протокола и сохранение результатов с возможностью последующей передачи.

Для повышения надежности допускается выполнение нескольких повторов каждого опыта с усреднением амплитуд и контролем разброса (например, по СКО).

Результатом диагностического тестирования является компактный набор значений:

$$\{\Delta_{max} v_t \rho(t) T_{oc}\},$$

а также служебные поля: идентификатор двигателя, дата/время, параметры импульса, версия алгоритма, текущая матрица G_t (по необходимости).

Список литературы

- [1.] Курилин С.П. Методы тестирования технического состояния асинхронных электродвигателей в процессе эксплуатации // Вестник МЭИ. 2022. №6. С. 11–20. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-6-11-20.
- [2.] Патент RU 2794240 C1. Способ диагностирования технического состояния асинхронных электрических двигателей и устройство для его осуществления. Оpubл. 13.04.2023.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА С УЧЁТОМ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ВИБРАЦИИ

При работе станочного электропривода одним из факторов, усложняющих динамические процессы и требующих корректировки и демпфирования средствами электропривода при управлении, является возникновение различного рода вибраций.

Моделирование вибрации при сверлении – сложная задача, требующая учёта многих факторов. На основе данных моделирования можно предсказать диаграммы стабильности процесса сверления. В качестве примера приведём зависимости, снятые на реальном станке, и отражающие возникновение вибрации при сверлении в функции глубины резания и скорости шпинделя. Они представлены на рисунке 1 [1].

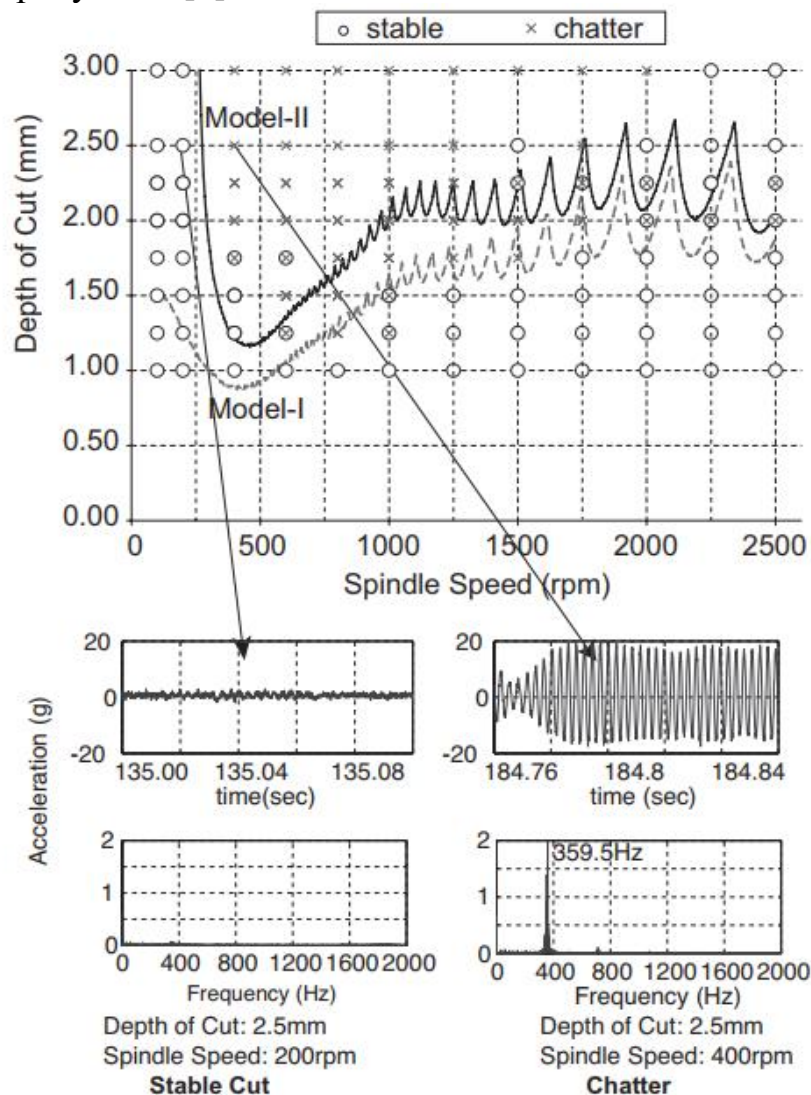


Рис. 1 – Зависимости, отражающие возникновение вибрации при сверлении в функции глубины резания и скорости шпинделя

Для получения подобных диаграмм стабильности требуется инструментарий не только математического моделирования численными методами, но и лабораторные исследования при помощи дорогостоящего реального оборудования. Важно при этом определить собственные частоты механических резонансов различного инструмента и составляющих частей станка. Зачастую такая информация от производителей современных станков с ЧПУ, оснащенных сервоприводами, является коммерческой тайной. Все теоретические работы в данном направлении опираются на вполне конкретные частные случаи – с экземплярами станков, для которых либо сам производитель станка заказывает исследование на виброиспытания, либо автор располагает станком и может с достаточной инженерной точностью идентифицировать требуемые параметры для последующего моделирования.

Поэтому предположим в качестве первого приближения, что диаграмма стабильности, подобная рисунку 1, известна, а задача системы управления электроприводом шпинделя состоит в ее учете на известных частотах для обхода участков механических резонансов.

Например, для представленной на рисунке 1 диаграммы стабильности, при значениях глубины резания 2,5 мм, нужно допускать только следующие значения скоростей вращения шпинделя: 0 – 250, 1500, 2000, 2500 об/мин.

Зададим разрешенные зоны скоростей вращения в разработанной ранее компьютерной модели [2] и проверим работу системы управления при линейном переходе (с заданным темпом) от одной скорости к другой.

Результаты представлены на рисунке 2 (электромагнитный момент) и рисунке 3 (скорость вращения шпинделя).

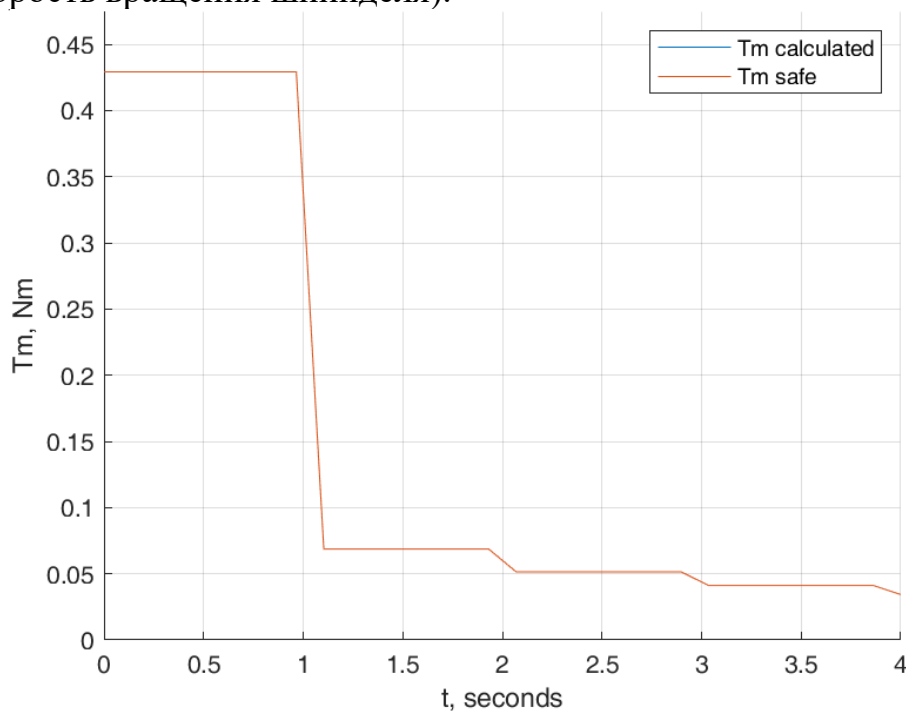


Рис. 2 – График электромагнитного момента двигателя (Н·м) на режиме при операции сверления

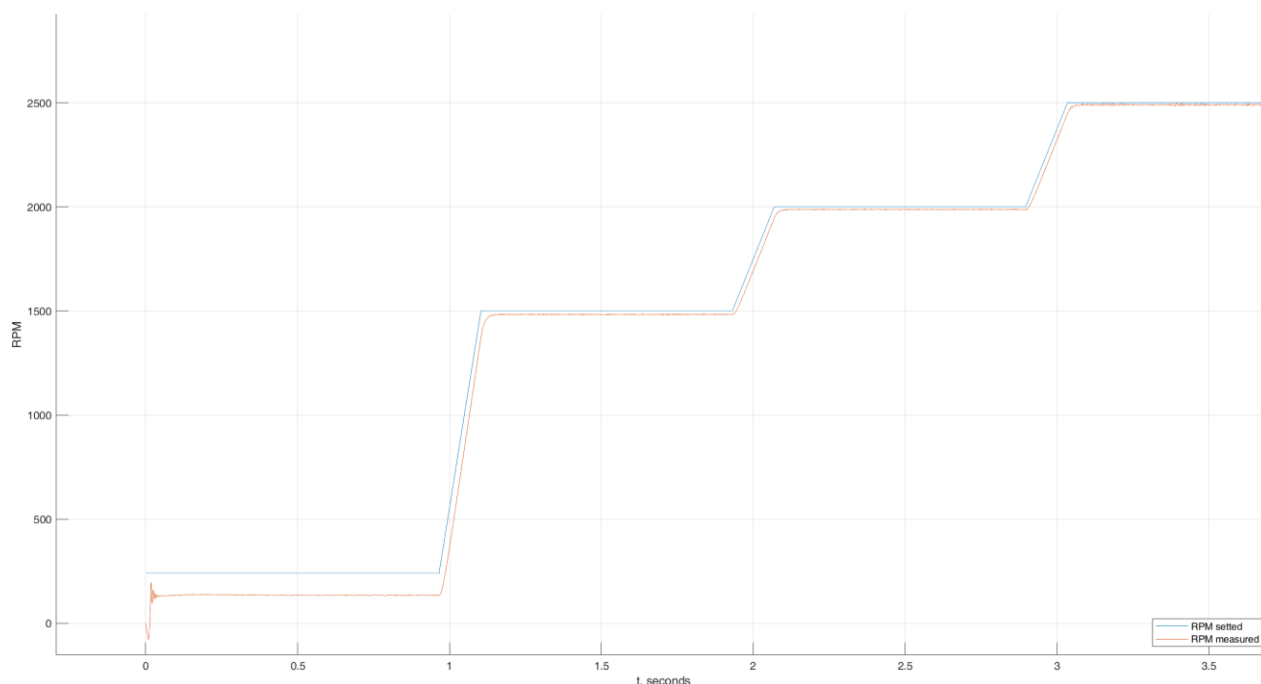


Рисунок 3 - График скорости вращения электродвигателя (об/мин) на режиме при операции сверления

Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что система частотного электропривода вращения шпинделя отработывает заданные скорости с достаточной точностью, без возникновения вибраций.

Вывод.

Проведенное моделирование показывает, что в случае известной диаграммы стабильности и соответствующем задании частот вращения шпинделя, удастся успешно обходить интервалы механических резонансов, исключая появление нежелательных механических вибраций.

Для подтверждения приведенных результатов компьютерного моделирования требуется разработка прототипа электропривода сверлильного станка для проведения натурного эксперимента.

Список литературы

- [1]. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design/ Yusuf Altintas – second edition, Cambridge University Press, 2012, page – 149.
- [2]. Магидов Р.Е., Рожков В.В. НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА// ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА (электроэнергетика, электротехника, теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве. Сб. трудов XXII -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 2 т. Т 1. – 2025. – 505 с.

ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ

Для станочного механизмов главного движения, в частности вращения шпинделя сверлильного станка, выбор типа электропривода и приводного электродвигателя является компромиссной задачей, при решении которой используются технико-экономические критерии. Станочные механизмы чаще всего работают в сложном повторно-кратковременном режиме с характерными периодическими перегрузками и паузами, иногда даже с ударными нагрузками. В таких случаях целесообразно рассмотреть возможные варианты электропривода на основе двигателей с высокими удельными характеристиками. Основной регулируемой координатой в электроприводе является электромагнитный момент, и именно его величина в тех же габаритах машины при прочих равных условиях имеет решающее значение при старте проектирования системы.

Выбор типа электропривода для механизма является начальным, крайне важным этапом конструирования электромеханической системы станка. Ранее в [1] предполагалось применять систему электропривода с асинхронным двигателем в качестве объекта управления станочного привода от преобразователя частоты с векторным принципом регулирования. В качестве основных преимуществ асинхронной машины рассматривались невысокая цена, хорошая управляемость от частотного преобразователя в широком диапазоне момента и скорости.

Чтобы подтвердить или опровергнуть правильность выбора системы электропривода проведём эксперимент, доработав разработанную ранее MatLab-модель блоком нагружения вала двигателя, имитирующим приложение реального момента, возникающего при сверлении разных материалов разными свёрлами.

Кривая момента при сверлении задаётся следующей несложной последовательностью действий над основными величинами, характеризующими операцию сверления.

Момент нагрузки связан с мощностью соотношением:

$$M_c = P_c \times 9550 / n, \text{ Нм},$$

где P_c – потребляемая мощность, кВт.

Собственно потребляемая мощность:

$$P_c = V_c \times D_c \times f_n \times k_c / (240 \times 10^3),$$

где k_c – удельная сила резания, Н/мм², D_c – диаметр сверления, мм, f_n – подача на один оборот, мм/об, V_c – скорость резания, м/мин.

Скорость резания определяется как:

$$V_c = \pi \times D_c \times n / 1000,$$

где n – частота вращения шпинделя, об/мин.

В качестве значения, характеризующего подачу сверла, обычно используют скорость подачи, которая задаётся как:

$$V_f = f_n \times n, \text{ мм/мин.}$$

Используемые в качестве примера основные параметры для сверления на станке сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Основные параметры при сверлении

Параметр	Значение
K_c , Н/мм ²	1500
D_c , мм	16
V_f , мм/мин	20

При принятых основных параметрах динамическая характеристика электромагнитного момента электродвигателя (Нм) при медленном нагружении вала при сверлении, полученная на компьютерной модели, представлена на рисунке 1.

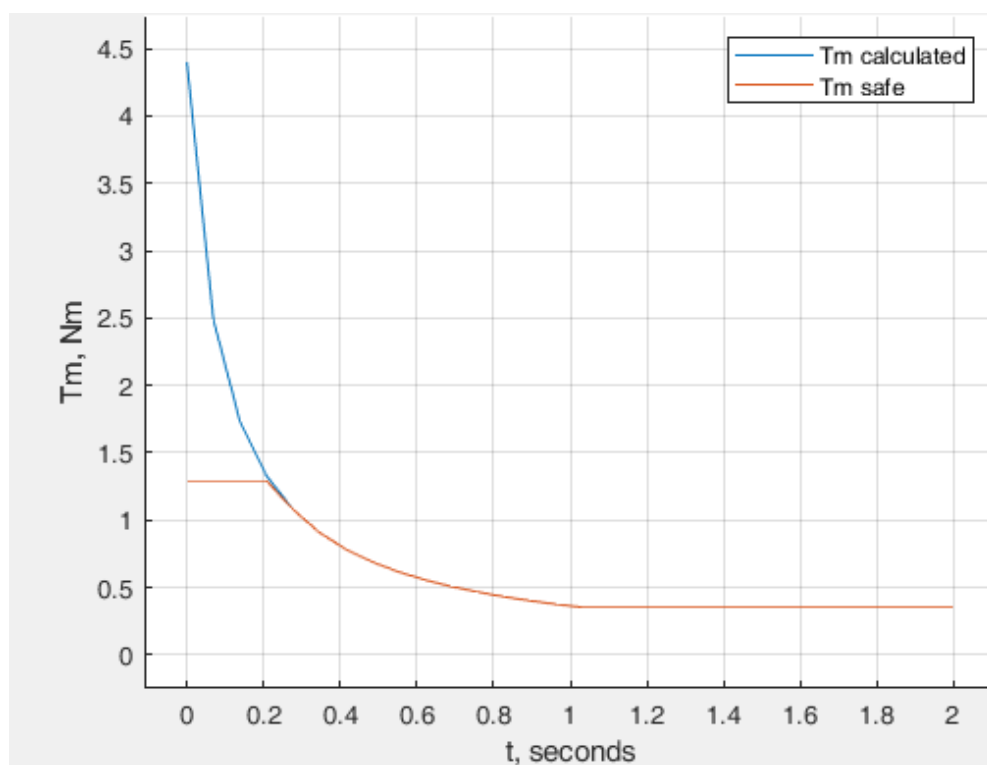


Рис. 4 – Динамическая характеристика электромагнитного момента электродвигателя при медленном нагружении (синий график – рассчитанный, красный график – заданный)

Динамическая характеристика скорости вращения вала электродвигателя (об/мин) при медленном нагружении вала при сверлении представлена на рисунке 2.

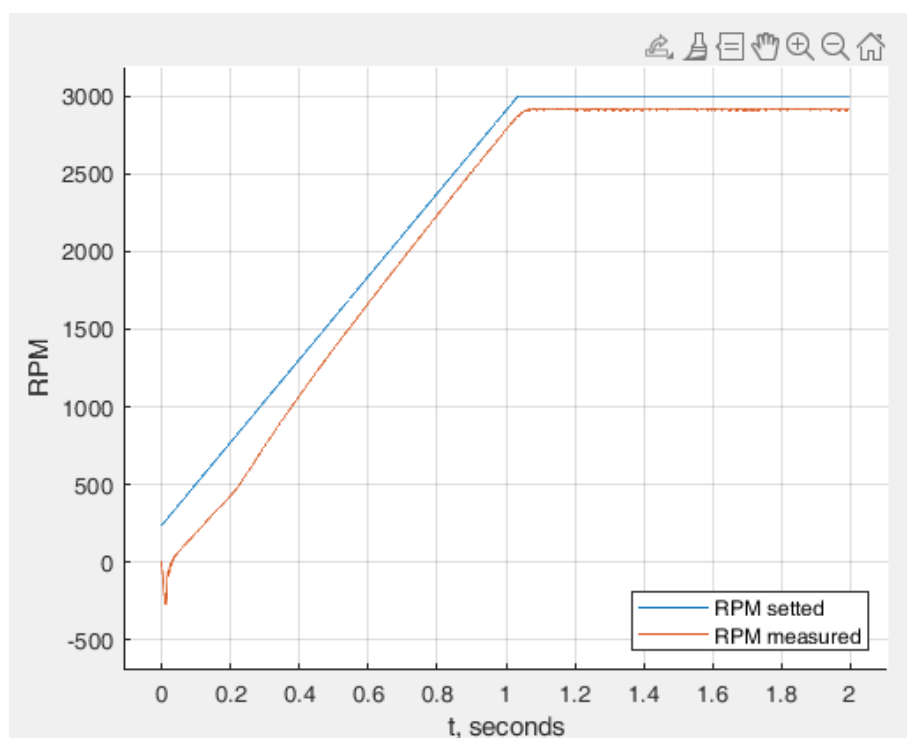


Рис. 5 – Переходной процесс скорости вращения электродвигателя (синий график – заданная, красный график – измеренная)

Проведенный микроанализ показывает, что при работе электропривода на низкой скорости вращения для выполнения операции сверления с заданными параметрами требуется более высокий электромагнитный момент на валу двигателя, в ряде случаев превышающий номинальное паспортное значение.

В механических системах регулирования скорости вращения, где переставляется ремень на соответствующий диаметр шкивов, при уменьшении в K раз, ровно в такое же количество раз растёт момент (при пренебрежении потерями). Таким образом, малое значение электромагнитного момента от асинхронного двигателя на низких оборотах механически компенсируется коробкой передач, редуктором.

При этом опыт эксплуатации станочного парка показывает, что при переводе станка на управление частотой вращения от электронного преобразователя требуется замена двигателя на синхронный с соответствующим типом привода схожей либо большей мощности.

Список литературы

- [1]. Магидов Р.Е., Рожков В.В. НАСТРОЙКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫМ ПРИВОДОМ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА// ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЭНЕРГЕТИКА И ЭКО-НОМИКА (электроэнергетика, электротехника, теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве Сб трудов XXII -ой Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 2 т. Т 1. – 2025. – 505 с.
- [2]. Управление частотно-регулируемым электроприводом: Конспект лекций по курсу «Специальные разделы теории электропривода». /Данилов П.Е., Крутиков К.К., Рожков В.В. – 2-е изд., испр. – Смоленск, 2012. – 100 с.

СЕКЦИЯ 2 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

*И.В. Голузова, студ., У.А. Ткачева, студ.; рук. А.И. Киселева, ст.пр.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Системы централизованного теплоснабжения являются ключевым элементом инфраструктуры современных городов, обеспечивая комфортные условия проживания населения и функционирование промышленных предприятий. В соответствии со стратегическими документами Российской Федерации, энергосбережение и повышение надежности теплоснабжения выступают приоритетными направлениями развития энергетики. Однако, как отмечается в исследованиях, наиболее слабым звеном в системах теплоснабжения с позиций надежности являются тепловые сети, где происходит основное число аварий, сопровождающихся прерыванием поставок тепловой энергии потребителям [1].

Надежность тепловых сетей представляет собой комплексное свойство, включающее несколько составляющих: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость. Количественными показателями надежности служат параметр потока отказов λ , вероятность безотказной работы P , коэффициент готовности k_r и среднее время восстановления τ .

Тепловые потери в окружающую среду оказывают непосредственное влияние на каждый из этих показателей. При неудовлетворительном состоянии тепловой изоляции возрастают не только прямые потери тепловой энергии, но и ускоряются коррозионные процессы, что ведет к снижению безотказности и долговечности трубопроводов. Особенно критично это влияние проявляется при низких температурах наружного воздуха, когда увеличиваются температурные деформации и возрастает риск повреждений сварных швов и компенсирующих устройств.

При оценке надежности необходимо учитывать не только вероятности отказов элементов, но и экономические потери от возможных недоотпусков тепловой энергии потребителям. Величина недоотпуска напрямую зависит от времени восстановления τ , которое, в свою очередь, определяется условиями проведения ремонтных работ и температурой окружающей среды. При низких температурах время ликвидации повреждения возрастает из-за необходимости оттаивания грунта, прогрева оборудования и обеспечения безопасности персонала.

Конечным результатом функционирования любой системы теплоснабжения является обеспечение нормативных параметров микроклимата внутри отапливаемых помещений. Поддержание заданной температуры воздуха напрямую зависит от способности системы компенсировать трансмиссионные

теплопотери здания через ограждающие конструкции. Инфильтрация холодного воздуха через неплотности в оконных и дверных проемах также создает дополнительную нагрузку на систему отопления, требуя повышенного расхода тепловой энергии. Качество подготовки теплоносителя на источнике и его параметры должны строго соответствовать температурному графику, скорректированному с учетом текущей температуры наружного воздуха. Нарушение этого графика, например, недогрев или перегрев сетевой воды, приводит либо к дискомфорту для потребителей, либо к нерациональному перерасходу топлива. Особенно остро проблема недостаточного теплоснабжения проявляется в угловых и торцевых квартирах, теплопотери которых значительно выше, чем у расположенных в середине здания. Эффективность работы системы отопления здания зависит не только от внешних сетей, но и от состояния внутренних инженерных коммуникаций, включая стояки, подводки и отопительные приборы. Разбалансировка внутренней системы отопления, вызванная засорением труб или неправильной наладкой, приводит к неравномерному прогреву помещений по этажам и стоякам.

Для объективной оценки климатических условий, в которых эксплуатируются системы теплоснабжения, необходимо учитывать эволюцию нормативных требований к расчетным параметрам. Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) являются интегральным показателем, аккумулирующим в себе как продолжительность отопительного периода, так и среднюю температуру наружного воздуха за этот период. Сравнение значений ГСОП, рассчитанных по нормативам разных лет, позволяет проследить тенденцию изменения климатических параметров, официально признаваемых на государственном уровне.

Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП) представляют собой интегральный климатический показатель, объединяющий продолжительность отопительного сезона и среднюю температуру наружного воздуха за этот период. В отличие от раздельного учета этих параметров, ГСОП позволяет комплексно оценить суровость климатических условий и широко используется при нормировании теплозащиты зданий и расчетах теплопотребления.

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}})z_{\text{от}}, \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{сут},$$

где $t_{\text{от}}$ – средняя температура наружного воздуха, $^\circ\text{C}$, $z_{\text{от}}$ – продолжительность, сут/год, отопительного периода, принимаемые по своду правил для периода со среднесуточной температурой наружного воздуха не более $8\text{ }^\circ\text{C}$, а при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых не более $10\text{ }^\circ\text{C}$; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха здания, $^\circ\text{C}$ [2].

Области применения ГСОП охватывают нормирование теплозащиты зданий, расчеты теплопотребления, оценку фактической энергоэффективности и сопоставление зданий в различных климатических условиях. В частности, требуемое сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций

устанавливается в зависимости от ГСОП: чем выше этот показатель, тем больше необходимая толщина тепловой изоляции. При определении годового расхода тепловой энергии ГСОП служит базовой величиной, позволяющей рассчитать потребность в топливе на стадии проектирования. Для корректного сравнения фактического теплопотребления за разные годы ГСОП используют как инструмент приведения данных к единым климатическим условиям. Кроме того, данный показатель важен при оценке надежности тепловых сетей: с его увеличением возрастают тепловые потери при транспортировке теплоносителя и повышаются риски замерзания в аварийных ситуациях, что диктует более жесткие требования к резервированию и качеству изоляции.

Таким образом, значение ГСОП является фундаментальной климатической характеристикой, от которой зависят как проектные решения, так и эксплуатационные показатели.

В таблице 1 представлены значения ГСОП для города Смоленска, вычисленные на основе данных строительно-климатических нормативов, действовавших в различные периоды времени. Расчет выполнен для жилых зданий с расчетной температурой внутреннего воздуха $t_{\text{вн}} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ [3].

Таблица 1 – Значения ГСОП для г. Смоленска по нормативным документам разных лет

Нормативный документ	Средняя температуры отопительного периода $t_{\text{от}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного периода $z_{\text{от}},\text{ сут}$	ГСОП, $^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$
СНиП 2.01.01 -82	-2,7	210	4767
СНиП 23-01-99	-2,4	215	4816
СП 131.13330.2012	-2,0	209	4598
СП 131.13330.2018	-2,0	209	4598
СП 131.13330.2020	-2,0	207	4554
СП 131.13330.2025	-1,4	206	4408

Анализ представленных данных позволяет проследить эволюцию нормативных представлений о климатических условиях города Смоленска. Таким образом, за период с 1982 по 2025 год расчетное значение ГСОП для города Смоленска уменьшилось на $359\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$, что составляет около 7,5% от исходной величины. Это снижение отражает как реальные климатические изменения, фиксируемые метеорологическими наблюдениями, так и совершенствование методик обработки климатических данных. Практическое значение этого факта заключается в том, что использование устаревших нормативных значений ГСОП при проектировании приводит к завышению требуемого сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и, как следствие, к избыточным капитальным затратам на строительство. При эксплуатации систем теплоснабжения ориентация на прежние, более высокие значения ГСОП может служить причиной завышения договорных тепловых

нагрузок и необоснованного увеличения платежей потребителей, не оснащенных приборами учета. Следовательно, для обеспечения достоверности инженерных расчетов и экономической обоснованности проектных решений необходимо руководствоваться актуальными климатическими параметрами, соответствующими современным нормативным документам.

Рассчитанное значение ГСОП для Смоленска и расчетная температура наиболее холодной пятидневки являются базовыми параметрами, которые должны учитываться при планировании мероприятий по повышению надежности. Снижение ГСОП на $359\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ по сравнению с нормативами 1982 года свидетельствует о смягчении климатических условий, однако не исключает риска аварий, особенно в периоды экстремальных похолоданий. Повышение надежности тепловых сетей требует комплекса мер. К числу проектных решений следует отнести применение актуальных значений ГСОП для обоснования толщины тепловой изоляции, использование предизолированных труб с системой оперативного дистанционного контроля, а также оптимальное секционирование сетей, позволяющее минимизировать число отключаемых потребителей при аварии. Эксплуатационные мероприятия включают регулярный тепловизионный контроль в периоды низких температур, когда дефекты изоляции наиболее контрастны, мониторинг состояния металла методами неразрушающего контроля и внедрение погодозависимого регулирования, снижающего тепловые потери и температурные деформации. Организационная составляющая предполагает наличие четких регламентов аварийного реагирования, включая локальную циркуляцию, дренаж систем теплоснабжения для предотвращения размораживания и применение передвижных источников тепла. Как показывает практика, именно сочетание этих групп мероприятий позволяет сократить время восстановления теплоснабжения и снизить риски аварий в условиях экстремальных похолоданий.

Таким образом, состояние тепловых сетей остается ключевым фактором, определяющим надежность централизованного теплоснабжения. Тепловые потери, помимо энергетической составляющей, служат важным индикатором технического состояния трубопроводов, влияя на показатели безотказности и долговечности. Выполненный на примере г. Смоленска анализ показал, что нормативные значения ГСОП за период 1982–2025 гг. снизились на $359\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$ (около 7,5 %), что подтверждает необходимость использования актуальных климатических данных при проектировании и эксплуатации. Применение устаревших нормативов ведет к завышению расчетных тепловых нагрузок и необоснованным затратам. Предложенные в работе мероприятия – конструктивные, эксплуатационные и организационные – позволяют с учетом современных климатических условий минимизировать последствия аварий и сократить время восстановления теплоснабжения. Реализация комплексного подхода, основанного на актуализации климатических параметров и мониторинге технического состояния сетей, является необходимым условием повышения надежности систем централизованного теплоснабжения.

- [1]. Поливода Ф.А. Надежность систем теплоснабжения городов и предприятий легкой промышленности: учебник. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 170 с.
- [2]. СП 131.13330.2020. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». М.: Минстрой России, 2020;
- [3]. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Минстрой России, 2020.

*И.В. Голузова, У.А. Ткачева студ.; рук. А.И. Киселева, ст.пр.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ЭКОНОМИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ

На сегодняшний день теплоснабжающий комплекс России сталкивается с серьезными трудностями: значительный износ основных фондов, морально устаревшие технологические подходы и снижение эксплуатационной надежности. Оборудование, введенное в эксплуатацию несколько лет назад, часто функционирует с низким КПД и неспособно обеспечивать стабильную подачу тепла в периоды пиковых нагрузок. Сложившаяся система, принципы которой не пересматривались с момента её возникновения, остро нуждается в масштабных изменениях. В этих условиях на первый план выходят задачи повышения надежности, энергоэффективности и экономичности теплоснабжения потребителей. Эти проблемы можно решить с помощью внедрения эффективных пиковых источников тепла, модернизации устаревшего котельного оборудования и применении инновационных технологий теплообмена, позволяющих минимизировать потери и эксплуатационные затраты. Рассмотрим каждый из предложенных вариантов.

1. Использование пиковых энергоустановок для компенсации повышенных нагрузок в коммунальной инфраструктуре [1].

В условиях низких температур оборудование тепловых пунктов, особенно имеющих высокую степень износа, часто не может гарантировать нормативный подогрев сетевой воды. В такие периоды для предотвращения аварийных ситуаций и разгрузки основных мощностей целесообразно подключать пиковые источники теплоты.

Традиционная конфигурация системы теплоснабжения, включающая в себя три ключевых звена – источник тепла, тепловые сети и конечный потребитель, - остается неизменной на протяжении десятилетий. Её структурная схема представлена на рисунке 1.

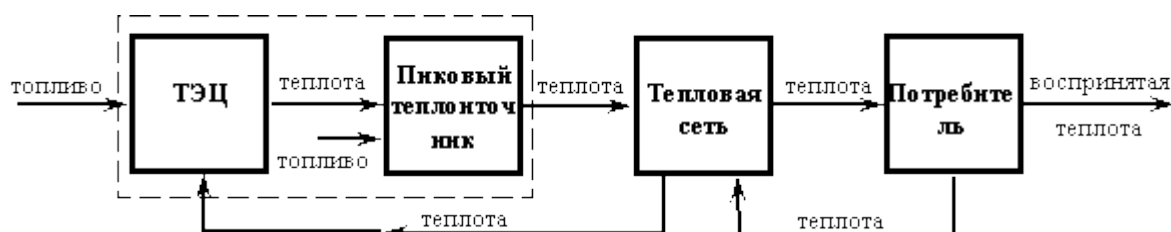


Рисунок 1. Структурная схема классической конфигурации системы теплоснабжения

Роль основного и пикового источника чаще всего исполняют теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) или котельные установки. При этом использование ТЭЦ является более предпочтительным с экономической точки зрения, поскольку позволяет существенно сократить расход топлива за счет комбинированной выработки энергии (теплофикации).

В качестве пиковых источников тепловой мощности (ПТМ) повсеместно применяются водогрейные котлы из стали, мощность которых варьируется в диапазоне 35-209 МВт. Такое оборудование, как правило, размещается на ТЭЦ.

По итогам анализа актуального состояния отечественной теплоснабжающей инфраструктуры можно выделить ключевые векторы технологического развития:

- реорганизация системы покрытия переменных пиковых нагрузок посредством интеграции централизованных и автономных генерирующих мощностей;
- совершенствование методов регулирования тепловой нагрузки, в том числе за счет перехода на количественное регулирование и применения низкотемпературных графиков;
- вовлечение в покрытие пиковых нагрузок избыточного пара, образующегося в производственных отборах турбин;
- повышение энергетической и экономической эффективности работы генерирующих объектов, включая установки пиковой мощности;
- усиление надежности тепловых сетей благодаря внедрению современных методов противозерозионной и противокоррозионной обработки теплоносителя, а также предотвращению вторичного насыщения агрессивными газами.

Комплексное применение указанных мер позволяет продлить срок службы теплогенерирующих объектов, повысить качество обслуживания потребителей и снизить количество аварий, возникающих в периоды максимального энергопотребления.

2. Организация безотходного теплообмена в локальных системах теплоснабжения.

В действующих схемах теплоснабжения и химической водоподготовки широко востребованы кожухотрубчатые теплообменные аппараты. В процессе длительной эксплуатации на внутренних поверхностях трубок образуются отложения, что провоцирует повышение температуры стенок, перерасход пара, падение КПД и увеличение риска механических повреждений. Следствием этого

становятся высокие эксплуатационные расходы и продолжительные ремонтные работы.

Значительным прорывом в решении данных проблем стало появление аппаратов смешивающего типа, коэффициент полезного действия которых приближается к 100%. Интенсивный турбулентный поток в таких устройствах препятствует формированию накипи. Тем не менее, первые образцы имели конструктивные ограничения по диаметрам (не более 100 мм), что сдерживало пропускную способность по воде и пару. Кроме того, в переходных режимах возникала вибрация, что требовало применения сложных систем автоматической стабилизации.

Указанные недостатки удалось минимизировать в инновационной модели смесительного теплообменного аппарата «КОССЕТ» (рис.2). Особенность его конструкции заключается в разделении водяного потока на две части: одна направляется в эжектор, другая в свою очередь - в окружающую его полость. Соотношение потоков автоматически адаптируется под текущий расход пара. Устройство демонстрирует устойчивую работу при колебаниях параметров среды в диапазоне 25-90% от номинальных значений [2].

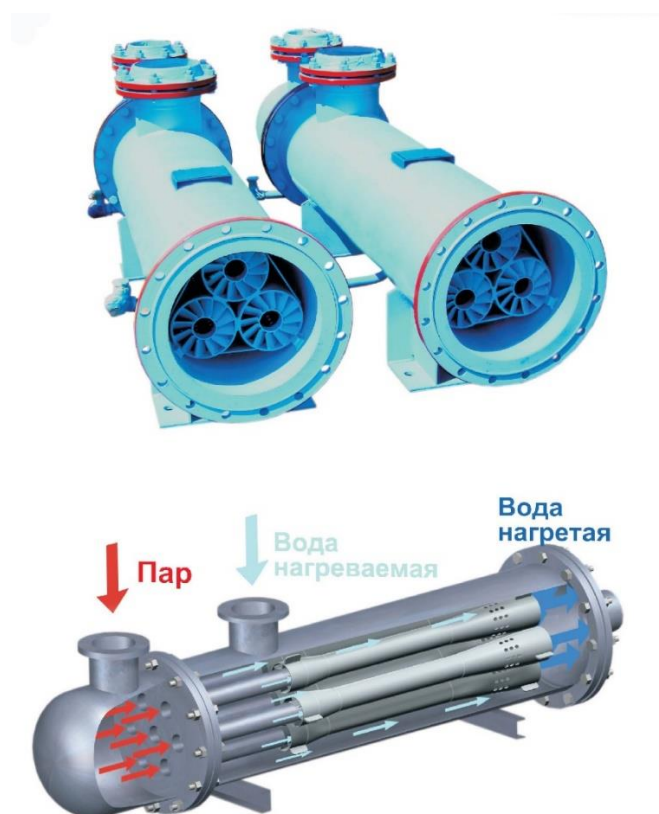


Рисунок 2. Внешний вид и схема потоков смешивающего теплообменника модели «КОССЕТ»

Применение теплообменных аппаратов смешительного типа в схемах теплоснабжения и химводоподготовки котельных и теплоэлектроцентралей обеспечивает ощутимый экономический эффект, достигаемый за счет:

- высокого коэффициента полезного действия (порядка 99%);

- оптимизации использования пара, минимизации тепловых потерь, снижения удельного расхода топлива и, как следствие, уменьшения стоимости производимой тепловой энергии (суммарная экономия достигает 20-30%);
- отсутствия необходимости в проведении капитальных и плановых ремонтов, а также в трудоемкой подготовке к отопительному сезону;
- сокращения затрат при замене оборудования, исчерпавшего свой ресурс;
- отказа от использования систем сбора и возврата конденсата.

3. Обновление котлового оборудования путем замены морально и физически устаревших агрегатов.

Совокупная мощность объектов теплоснабжения, находящихся в ведении муниципалитетов, составляет свыше 165 тыс. Гкал/ч. Общее количество установленных котлов превышает 110 тысяч единиц, а годовой расход топлива на выработку тепла достигает более 40 миллионов тонн условного топлива.

Более 60% котлов были введены в строй 30-40 лет назад и на сегодняшний день полностью исчерпали ресурс, заложенный производителем. Это предопределяет их низкие технико-экономические показатели. Например, коэффициент полезного действия маломощных котлов варьируется от 70 до 84%, тогда как современные аналоги демонстрируют КПД на уровне 92-93%. Удельный расход топлива в старых установках составляет 170-230 кг у.т./Гкал, что на 14-70 кг выше показателей современных агрегатов (156-157 кг у.т./Гкал). Существует острая необходимость в проведении масштабных реконструкционных работ, однако темпы обновления оборудования остаются недостаточными.

При сохранении текущих тенденций в ближайшие 5-10 лет ожидается сокращение располагаемой мощности источников на 30-40% вследствие критического износа фондов. Модернизация и замена изношенного оборудования позволит уменьшить расход топлива, увеличить выработку энергии, а также улучшить качество и надежность теплоснабжения, уменьшить вредные выбросы в атмосферу и уменьшить тариф для потребителей.

Проведенный анализ проблем теплоснабжения указывает на необходимость комплексной модернизации отрасли. Реализация этих направлений позволит не только повысить надежность и долговечность работы источников теплоты, но и обеспечить значительную экономию топливных ресурсов, уменьшить антропогенное воздействие и создать предпосылки для сдерживания роста тарифов для конечных потребителей без ущерба для качества услуг.

Литература

- [1]. Энергосовет: сайт – URL: <http://www.energsovet.ru/entech.php?id=1> (Дата обращения: 01.03.2026)
- [2]. Поставщики Машин и Оборудования: сайт - URL: <https://www.oborudunion.ru/catalog/energoberegayuschiy-terploobmennik-kosset-1000333832/> (Дата обращения: 01.03.2026)

МЕТОДЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ЗАДАЧАХ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ В СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ПРОЦЕССАХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Современный топливно-энергетический комплекс (ТЭК) представляет собой совокупность сложных организационно-технических динамических систем, функционирующих в условиях неопределенности, требующей применения методов проактивного прогнозирования и контроля, зачастую осуществляемого посредством снятия показателей с датчиков, объединенных в единый контур. Как отмечает К. В. Щурин [1], обеспечение надежности подобных систем в настоящее время преимущественно осуществляется комплексом вероятностно-статистических методов. Однако, по мнению А. Н. Баланова [2], для слабоформализуемых процессов, характеризующихся неполнотой, неточностью и противоречивостью исходной информации, а также наличием качественных экспертных оценок, классические, преимущественно математические подходы, зачастую неэффективны. Например, в условиях, когда параметры работы оборудования (например, степень коррозии трубопровода или остаточный ресурс трансформатора) не могут быть измерены с достаточной точностью, а аварии носят редкий характер, но имеют тяжелые последствия. Это обуславливает необходимость применения методов системного анализа, способных оперировать с информацией, описывающей слабоформализуемые процессы.

Существующие методы системного анализа надежности, описанные в классических учебниках по системному анализу (например, О. В. Булыгиной, А. А. Емельянова, Н. З. Емельяновой и А. А. Кукушкина [3]), основаны на применении теории вероятностей, математической статистики и элементов имитационного моделирования. Данные методы требуют наличия данных, отражающих характеристики сообщений об отказах оборудования, а также параметры, описывающие моделируемый процесс. Однако, как отмечают М. Ю. Меменкова, Е. Л. Еижевская и Ю. Д. Юеменков [4], для большого количества относительно уникальных объектов ТЭК (например, новых типов турбин или атомных реакторов), а также для прогнозирования поведения систем в нештатных ситуациях, получение таких данных затруднено или невозможно. Кроме того, многие факторы, влияющие на надежность, такие как износ оборудования, квалификация персонала, качество технического обслуживания, носят качественный характер и плохо поддаются количественной оценке. В связи с этим сегодня одними из наиболее подходящих инструментов для решения задач подобного рода становятся теория нечетких множеств и методы нечеткого моделирования, способные качественно описать слабоформализуемые процессы.

В отличие от четкой или бинарной логики, где высказывания могут быть только истинными или только ложными, нечеткая логика оперирует степенями истинности (например, «высокая степень износа», «средний риск отказа» или «благоприятные условия эксплуатации»), преобразуемыми в соответствии с функциями принадлежности. Соответственно, методы нечеткого моделирования позволяют создавать адаптивные системы управления, которые корректируют режимы работы оборудования в зависимости от текущей нечеткой оценки ситуации, предотвращая развитие аварий. Так, потенциально в ТЭК нечеткие регуляторы могут быть использованы для демпфирования колебаний мощности, где точная математическая модель объекта управления часто неизвестна или слишком сложна.

На рисунке 1 изображен предлагаемый алгоритм применения инструментария теории нечеткой логики для решения прикладной задачи диагностики оборудования ТЭК.

Следует отметить, что в рамках фаззификации в методе каждый входной параметр преобразуется в степень принадлежности к нечетким множествам, а также строятся функции принадлежности для лингвистических термов (например, «низкая вибрация», «средняя вибрация», «высокая вибрация»). При этом форма и границы данных функций могут задаваться экспертами или определяться методами нечеткой кластеризации (например, Fuzzy C-means) на основе ретроспективных данных. Однако авторами предлагается использовать гибридную функцию с адаптивными параметрами, описываемые следующей формулой:

$$\mu_{v_i}(x) = \begin{cases} 0, & \text{при } x \leq a, \\ \frac{1}{1 + e^{-k(x-b)}} + \alpha \cdot \sin\left(\frac{\pi(x-a)}{c-a}\right), & \text{при } a < x \leq c, \\ 1, & \text{при } x > c, \end{cases}$$

где: v_i – значение агрегированного индекса подсистемы i многомерного вектора, описывающего слабоформализуемый процесс в ТЭК;

a, b, c – пороговые значения;

k – коэффициент крутизны;

α – амплитуда коррекции, учитывающая колебания данных, в частности при увеличении износа оборудования.

Представленная функция комбинирует свойства сигмоиды (S-образной функции принадлежности) и пороговых фильтров и позволяет эффективно учитывать временную изменчивость и нелинейные зависимости между значениями параметров износа оборудования ТЭК. Для подтверждения эффективности предлагаемой функции в рамках разрабатываемого программного продукта проведен экспериментальный запуск аппроксимации данных на основе усредненной выборки из открытых источников. Для указанного периода в ходе запуска амплитуда коррекции, учитывающая

колебания данных, устанавливалась в соотношении $\alpha > 0,3$. Результаты сравнения функций принадлежности приведены в таблице 1.

Рисунок 1 – Метод нечетко-логического анализ надежности при диагностике оборудования ТЭК

Тип функции принадлежности	Точность, %	Гибкость настройки	Время, мс
Классическая функция Гаусса	68,4	Низкая	5,2
Модифицированная функция	86,3	Высокая	7,8

Предлагаемый метод также адаптивен к аппарату интуиционистских нечетких множеств. Данный аппарат, как указывают Т. Т. З. Нгуен и Л. В. Черненькая [5], опирается на то, что в практике экспертного оценивания, особенно при работе со сложными техническими системами, суждение эксперта зачастую характеризуется не только степенью уверенности в наличии свойства, но и степенью сомнения (неуверенности). Соответственно, каждый элемент дополнительно приобретает помимо степени принадлежности степень непринадлежности и степень неопределенности (интуиционистский индекс), который формализует меру колебания или воздержания от суждения. Данный аппарат приобретает особую значимость в задачах диагностики критических объектов ТЭК, где цена ошибочных решений требует максимально осторожного подхода. Соответственно, учет неопределенности в явном виде позволяет генерировать более робастные и достоверные оценки, снижая риски, связанные с неполнотой или противоречивостью исходных данных. Например, при анализе косвенных признаков коррозионного повреждения при оценке технического состояния участка газопровода эксперт может сформулировать свое суждение следующим образом: уверенность в наличии коррозии составляет 0,7, уверенность в ее отсутствии – 0,1, при этом оставшиеся 0,2 представляют собой долю сомнения, вызванную неполнотой информации или нечеткостью косвенных признаков. Соответственно, применение данных множеств позволяет, в частности, осуществлять обоснованный выбор приоритетных участков для проведения ремонтных работ, учитывая не только выраженность дефектов, но и степень достоверности их диагностики.

Таким образом, внедрение методов теории нечетких множеств позволяет перейти от системы планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию, что значительно повышает экономическую эффективность. Особое значение предложенный метод приобретает в задачах управления надежностью сложных систем, таких как магистральные трубопроводы или энергосистемы, поскольку в них требуется учитывать множество слабоформализуемых факторов, таких как метеоусловия, геологические риски, человеческий фактор.

Литература

1. Щурин К.В. Надежность машин : монография. СПб. : Лань, 2022. 592 с.
2. Баланов А.Н. Цифровая энергетика. Системы управления, интеграция, оптимизация, прогнозирование спроса : монография. СПб. : Лань, 2024. 408 с.
3. Системный анализ в управлении / О.В. Булыгина, А.А. Емельянов, Н.З. Емельянова, А.А. Кукушкин. М. : ИНФРА-М, 2017. 450 с.
4. Меменкова М.Ю., Еижевская Е.Л., Юеменков Ю.Д. Интеллектуальный мониторинг состояний объектов трубопроводного транспорта углеводородов с применением нейросетевых технологий // Записки Горного института. 2022. № 258. С. 933-944.
5. Нгуен Т.Т.З., Черненькая Л.В. Модель прогнозирования интуиционистских нечетких временных рядов с использованием распределения отношений // International Journal of Open Information Technologies. 2023. №11. С. 35-44.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ СМОЛЕНСКОЙ ТЭЦ-2 С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

В настоящее время существует необходимость модернизации генерирующих мощностей в условиях энергетического перехода и цифровизации промышленности. Таким образом, в современной энергетике актуальна разработка поэтапной концепции трансформации тепловых станций, включающей внедрение цифровых двойников, интеллектуальных систем управления, накопителей энергии и гибридной генерации электроэнергии.

Цифровая теплоэлектроцентраль (ЦТЭЦ) – это энергетический объект комбинированной выработки электрической и тепловой энергии, функционирование которого основано на интеграции интеллектуальных систем управления, технологий промышленного интернета вещей (IIoT), цифровых двойников оборудования, аналитики больших данных и автоматизированных систем прогнозирования режимов работы, обеспечивающих оптимизацию топливно-энергетического баланса и повышение надежности эксплуатации [1].

В контексте настоящего исследования под переходом к цифровой теплоэлектроцентралью понимается комплексная технологическая и организационная модернизация Смоленская ТЭЦ-2, включающая:

- цифровизацию технологических процессов генерации;
- внедрение предиктивной диагностики и цифровых двойников;
- оптимизацию режимов работы на основе алгоритмов машинного обучения;
- интеграцию возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и систем накопления энергии;
- формирование гибридной модели генерации в составе интеллектуальной энергосистемы (Smart Grid).

Предметом исследования выступают организационно-технические и экономические механизмы цифровой трансформации теплоэлектроцентрали с учетом интеграции ВИЭ.

Цель исследования – разработка концептуальной модели перехода Смоленской ТЭЦ-2 к формату цифровой теплоэлектроцентрали с интеграцией возобновляемых источников энергии и оценка ее технико-экономической и экологической эффективности.

Цифровой двойник представляет собой математическую модель оборудования, позволяющую в режиме реального времени анализировать параметры работы и прогнозировать техническое состояние объекта исследования. Это обеспечивает переход от планово-предупредительного ремонта к обслуживанию по фактическому состоянию [2].

Интеграция ВИЭ в структуру ТЭЦ может осуществляться по гибридной схеме, где традиционная генерация компенсирует переменность возобновляемых источников [3]. Для условий Смоленской области целесообразно рассмотреть:

1. Фотоэлектрические установки на промышленных площадях станции (5-10 МВт).
2. Биотопливный котёл малой мощности с использованием древесных отходов.
3. Системы аккумуляторного хранения энергии (BESS) для сглаживания пиков нагрузки.
4. Использование тепловых насосов в системе теплоснабжения.

Такая модель позволяет снизить зависимость от ископаемого топлива и уменьшить углеродный след станции.

Первый этап цифровизации предполагает комплексную цифровую модернизацию, а именно внедрение единой платформы управления производственными данными; установку интеллектуальных датчиков контроля температуры, давления и вибрации; создание цифрового двойника станции; внедрение алгоритмов прогнозирования тепловой нагрузки. Применение методов машинного обучения позволяет оптимизировать режимы работы турбин и котлов, минимизируя удельный расход топлива. По оценкам, экономия может составить 3–5 % при одновременном повышении надежности оборудования.

На втором этапе формируется гибридная модель генерации. Солнечная электростанция покрывает часть дневной нагрузки, а система накопителей обеспечивает балансировку. Биотопливный котёл снижает долю природного газа в топливном балансе.

Интеллектуальная система управления распределяет нагрузку между источниками с учетом прогноза спроса, погодных условий и рыночных цен на электроэнергию.

Заключительный этап предусматривает формирование единого цифрового контура:

- интеграция станции в региональную интеллектуальную энергосистему (Smart Grid);
- автоматизированный обмен данными с оператором энергосистемы;
- внедрение киберзащиты критической инфраструктуры.

Это обеспечивает прозрачность управления, повышение оперативности принятия решений и устойчивость к внешним воздействиям.

Инвестиционные затраты на реализацию проекта включают:

- цифровую инфраструктуру и программное обеспечение;
- строительство солнечной электростанции;
- модернизацию котельного оборудования;
- внедрение систем накопления энергии.

Ожидаемые эффекты:

- снижение эксплуатационных затрат на 10-15 %;
- уменьшение удельного расхода топлива;

- сокращение выбросов CO₂ на 8-12%;
- увеличение срока службы оборудования.

Срок окупаемости проекта оценивается в 7-10 лет при условии государственной поддержки и участия в программах модернизации тепловой генерации.

Переход к цифровой теплоэлектроцентрали способствует снижению выбросов загрязняющих веществ; повышению энергетической эффективности; улучшению качества теплоснабжения; созданию новых рабочих мест в сфере цифровых технологий.

Проект соответствует принципам устойчивого развития и национальной стратегии декарбонизации энергетики [4].

Модернизация Смоленская ТЭЦ-2 на основе цифровых технологий и интеграции ВИЭ представляет собой стратегически обоснованное направление развития региональной энергетики.

Реализация предложенной поэтапной модели позволит повысить надежность и гибкость энергоснабжения, снизить экологическую нагрузку и обеспечить долгосрочную экономическую эффективность станции. Цифровая трансформация ТЭЦ формирует основу для перехода к интеллектуальной и устойчивой энергетической системе.

Литература

- [1]. Воропай Н.И. Электроэнергетические системы и сети. / Н.И. Воропай. – Новосибирск: Наука, 2018.
- [2]. Левченко В.П. Интеграция возобновляемых источников энергии в энергосистемы / В.П. Левченко. – СПб.: Политехника, 2020.
- [3]. Костюк А.Г., Филатов Н.Н. Цифровизация энергетики: технологии и перспективы / А.Г. Костюк., Н.Н. Филатов. – М.: Энергоатомиздат, 2021.
- [4]. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. <http://static.government.ru/media/files/w4sigFOiDjGVDYT4IgsApssm6mZRb7wx.pdf>.

АБСОРБЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС С ГАЗОВЫМ ПРИВОДОМ НА ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЭЦ

В соответствии с программой социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026-2030 гг., к 2030 году необходимо сократить уровень выбросов парниковых газов на 37 % от уровня 1990 года [1]. Основным источником выбросов парниковых газов в мире в целом, а также в Беларуси, является энергетический сектор [2].

Снижение выбросов при производстве тепловой и электрической энергии возможно при увеличении доли использования возобновляемых источников, а также путем повышения эффективности использования первичного топлива.

В Республике Беларусь в 2024 году 62,25 % всей произведенной электроэнергии получено за счет прямого сжигания природного газа [3], что указывает на необходимость продолжения работ по повышению эффективности использования органического топлива.

В проведенных ранее исследованиях [4, 5] показано, что модернизация системы регенеративного подогрева питательной воды, а в частности, включение абсорбционного теплового насоса (АБТН) с тепловую схему промышленно-отопительной ТЭЦ со значительным невозвратом конденсата позволяет повысить эффективность выработки электроэнергии по теплофикационному циклу. Повышение электрического, энергетического и эксергетического КПД и, соответственно, повышение эффективности использования первичного топлива на одной конкретной станции также позволяет повысить эффективность и устойчивость работы всей энергосистемы, то есть снизить расход топлива на выработку того же количества энергии.

Экономия первичного топлива достигается за счет регенеративного использования низкопотенциальных сбросных тепловых потоков, которые в классической схеме рассеиваются в окружающую среду. В данной работе рассмотрено использование циркуляционной воды конденсатора паровой турбины.

В качестве привода АБТН предлагается использование дымовых газов, которые в нужном количестве отбираются из тракта парового котла с температурой порядка 350-400°C.

Включать АБТН в систему подогрева питательной воды следует на станциях промузлов, а именно: Новополоцкая ТЭЦ, Мозырская ТЭЦ и Гродненская ТЭЦ-2, где присутствуют значительные невозвраты конденсата. Возврат конденсата производственных отборов пара на Новополоцкой ТЭЦ и Мозырской ТЭЦ отсутствует. Для Гродненской ТЭЦ-2 для отопительного периода невозврат конденсата составляет 70%, для межотопительного – 45%. Исследование проводится только для энергоблоков с турбинами типа ПТ-60 и ПТ-70, установленных на данных станциях.

Расчет производился из условия сохранения пропуска пара в конденсатор до и после модернизации. Соответственно, при сохранении тепловых нагрузок станции, после модернизации системы подогрева подпиточной воды, которая подразумевает сокращение расходов пара в отборы на подогрев питательной воды, электрическая выработка снижается.

Наибольший рост электрического КПД энергоблока (по текущим нагрузкам) получен 5,3 %, энергетического КПД – 4,0 %.

В качестве замыкающей станции в энергосистеме принята КЭС с удельным расходом топлива 302,8 г у.т./кВт·ч [6]. При этом годовое снижение расхода топлива в энергосистеме при модернизации энергоблоков на указанных станциях составит 12,8 тыс. т у.т./год.

По данным китайских производителей АБТН, удельная стоимость данного оборудования зависит от тепловой мощности единицы оборудования. Данная зависимость для АБТН с приводом дымовыми газами приведена на рисунке 1.

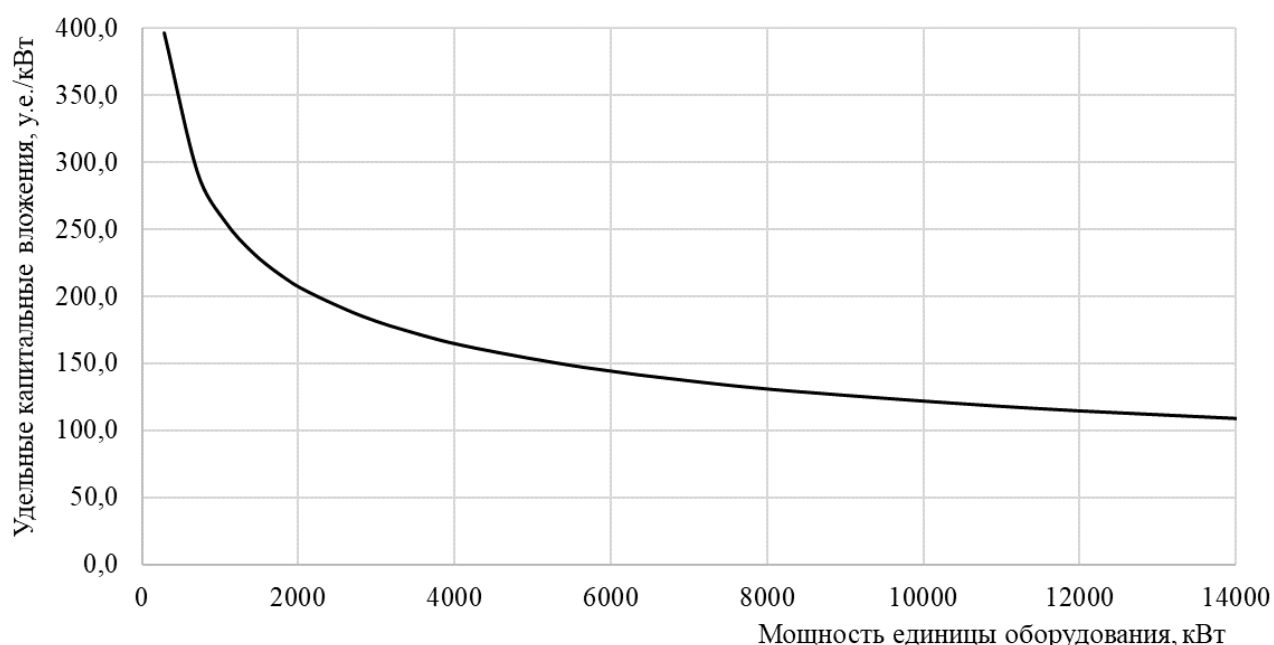


Рис. 1. Зависимость удельных капитальных вложений в АБТН в зависимости от его мощности

В соответствии с инструкцией по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий [7], простой срок окупаемости внедрения должен составлять не более 10 лет. С учетом рекомендаций Департамента по энергоэффективности о расчетной стоимости 1 тонны условного топлива, составляющей в 2026 году 195 долларов США [8], получено, что данные мероприятия для всех приведенных энергоблоков являются экономически эффективными. Простые сроки окупаемости мероприятий, с учетом затрат на проектирование, строительно-монтажные и пуско-наладочные работы для всех станций не превышают 2 лет.

Таким образом, внедрение АБТН (абсорбционных тепловых насосов) для подогрева подпиточной воды ТЭЦ с использованием в качестве привода АБТН потока дымовых газов, отбираемых из тракта парового котла, позволяет снизить годовое потребление первичного топлива в энергосистеме при сохранении суммарного отпуска тепловой и электрической энергии. При включении АБТН для подогрева подпиточной воды в тепловую схему блоков турбин ПТ-60 и ПТ-70 на Новополоцкой ТЭЦ, Мозырской ТЭЦ и Гродненской ТЭЦ-2 годовая экономия первичного топлива в Белорусской ОЭС составит 12,8 тыс. т у. т. Простые сроки окупаемости внедрения АБТН для подогрева подпиточной воды на перечисленных энергоблоках соответствуют показателю эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий и для всех станций не превышают 2 лет в текущих ценах на оборудование.

Литература

- [1]. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2026–2030 гг. // Национальный правовой интернет-портал (дата обращения: 20.01.2026).
- [2]. Our world in data. Greenhouse gas emissions by sector [сайт]. – Oxford, 2026. – URL: <https://ourworldindata.org/grapher/ghg-emissions-by-sector?country=~BLR> (дата обращения: 20.01.2026).
- [3]. Our world in data. Electricity mix [сайт]. Oxford, 2026. URL: <https://ourworldindata.org/electricity-mix> (дата обращения: 20.01.2026).
- [4]. Янчук В.В. Модернизация системы регенеративного подогрева питательной воды в цикле турбоустановки ПТ-60 / В.В. Янчук, В.Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2023. №6. С. 509–529.
- [5]. Янчук В.В. Использование дымовых газов котла для абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов системы регенеративного подогрева подпиточной воды / В.В. Янчук, В.Н. Романюк // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2025. №4. С. 343–352.
- [6]. Департамент по энергоэффективности. Удельные расходы топлива на отпуск электро- и теплоэнергии и потери в электро- и теплосетях, используемые в 2025 году в расчетах экономии топливно-энергетических ресурсов [сайт]. Минск, 2026. URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20250217_news1 (дата обращения: 20.01.2026).
- [7]. ИНСТРУКЦИЯ по определению эффективности использования средств, направляемых на выполнение энергосберегающих мероприятий : постановление Министерства экономики Респ. Беларусь, Министерства энергетики Респ. Беларусь и Комитета по энергоэффективности при Совете Министров Респ. Беларусь от 24.12.2003 №252/45/7 // Департамент по энергоэффективности. URL: <https://energoeffect.gov.by/supervision/framework/-24122003-252457> (дата обращения: 30.01.2026).
- [8]. Департамент по энергоэффективности. О расчетной стоимости 1 тонны условного топлива в 2026 году [сайт]. Минск, 2026. URL: https://energoeffect.gov.by/programs/forming/spravka/20250422_sprav-2 (дата обращения: 26.01.2026).

СЕКЦИЯ 3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*А.П. Абрамов, студ.; рук. К.И. Свириденкова, к.н.т., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ВЕРСИЙ ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MODBUS

В статье рассматриваются особенности протокола передачи данных Modbus, его модификации и области применения. Проведен сравнительный анализ версий Modbus RTU и Modbus TCP/IP по таким критериям, как способ передачи, скорость, надежность и масштабируемость. Особое внимание уделено практической реализации протокола на базе микроконтроллера STM32 и интерфейса RS-485. Отмечены достоинства протокола (простота, открытость, широкая распространенность), а также его ключевые недостатки, в первую очередь – уязвимости в области информационной безопасности.

Ключевые слова: Modbus, Modbus RTU, Modbus TCP, RS-485, STM32, промышленная автоматизация, протокол передачи данных, кибербезопасность.

Актуальность данной темы обусловлена ключевой ролью промышленных протоколов передачи данных в построении современных систем автоматизации технологических процессов (АСУ ТП) и "Интернета вещей" (IoT). С ростом сложности производств и увеличением количества интеллектуальных устройств на одном объекте возникает необходимость в надежном, простом и стандартизированном способе обмена информацией между датчиками, контроллерами и исполнительными механизмами. Протокол Modbus, благодаря своей открытости и простоте реализации, уже более четырех десятилетий остается фактическим стандартом в этой области. Однако, как и любая технология, разработанная до начала всеобщего распространения сети, Modbus имеет некоторые ограничения, особенно в сфере кибербезопасности, что требует особого внимания при проектировании современных систем. В данной работе представлен анализ протокола Modbus, сравнение его основных реализаций и рассмотрено применение протокола в связке с микроконтроллером STM32 и интерфейсом RS-485.[1]

Теперь разберем сущность и понятие технологии. Modbus представляет собой открытый коммуникационный протокол, основанный на архитектуре «клиент-сервер» (или «ведущий-ведомый»). Он был разработан компанией Modicon (Schneider Electric) в 1979 году для использования в программируемых логических контроллерах (ПЛК) [2]. Цель создания протокола заключалась в обеспечении простого и надежного способа обмена данными между электронными устройствами.

Ключевой особенностью Modbus является его функционирование на прикладном уровне (7-й уровень) модели OSI. Это означает, что протокол

определяет правила упаковки и интерпретации данных, но не привязан жестко к конкретной физической среде передачи. Информация в протоколе Modbus передается в виде PDU (Protocol Data Unit), который содержит код функции и блок данных. Для передачи по конкретной физической среде PDU «оборачивается» в ADU (Application Data Unit), добавляя адресную информацию и, в зависимости от среды, контрольную сумму.

Существует несколько основных реализаций протокола, наиболее распространенными из которых являются Modbus RTU (Remote Terminal Unit) и Modbus ASCII для последовательных линий связи, а также Modbus TCP/IP для сетей Ethernet. Modbus RTU использует двоичную кодировку данных, что обеспечивает высокую плотность информации и скорость обмена. Modbus ASCII, в свою очередь, кодирует каждый байт двумя ASCII-символами, что снижает скорость, но делает сообщения читаемыми для человека и позволяет обрабатывать паузы в передаче до нескольких секунд без возникновения ошибок. Modbus TCP/IP инкапсулирует PDU в пакет TCP/IP, добавляя к нему специальный заголовок MBAP (Modbus Application Protocol), но удаляя при этом контрольную сумму, так как ее функцию берет на себя транспортный уровень TCP.

Наибольший интерес для практического применения представляют две версии протокола: классический Modbus RTU, работающий по последовательным линиям, и современный Modbus TCP, функционирующий в сетях Ethernet. Их выбор определяет архитектуру всей системы автоматизации.

Физическая среда и способ передачи. Modbus RTU изначально разрабатывался для работы по последовательным интерфейсам RS-232, RS-422 и RS-485. Наиболее популярным является RS-485 благодаря своей помехозащищенности и возможности организовывать сети с множеством устройств (до 32 без повторителей и до 247 с повторителями) на расстоянии до 1200 метров. Передача данных осуществляется по принципу «витой пары» с дифференциальным сигналом, что обеспечивает высокую надежность в промышленных условиях с высоким уровнем электромагнитных помех. При использовании RS-485 сеть является полудуплексной, и обмен данными строго подчинен архитектуре «ведущий-ведомый» (master-slave). Ведущее устройство (master) последовательно опрашивает каждое ведомое (slave), отправляя запрос и ожидая ответ. Ведомые устройства не могут инициировать передачу самостоятельно.

В отличие от этого, Modbus TCP работает поверх физической среды Ethernet (витая пара категории 5e/6, оптоволокно). Это позволяет строить распределенные системы с практически неограниченной географией (за счет использования маршрутизаторов и глобальных сетей). Скорость передачи данных в таких сетях на несколько порядков выше (до 1 Гбит/с и более). В сетях TCP/IP может быть множество ведущих устройств, а любое устройство может выступать как в роли сервера, так и клиента [3].

Производительность и надежность. Modbus RTU, работая на типовых скоростях 9600-115200 бит/с, обеспечивает достаточную для множества задач

АСУ ТП производительность. Его надежность на физическом уровне во многом зависит от правильности монтажа сети: необходимости согласования линии с помощью терминальных резисторов (120 Ом), качественного заземления и экранирования кабеля. На программном уровне целостность пакетов в RTU обеспечивается вычислением контрольной суммы CRC16, которая включается в конец каждого сообщения. Кроме того, для определения границ пакета RTU использует временные интервалы (таймауты), что делает его чувствительным к временным задержкам.

Modbus TCP, используя инфраструктуру Ethernet, автоматически решает проблемы физического согласования на уровне сетевого оборудования (коммутаторы, маршрутизаторы). Надежность доставки пакетов гарантируется протоколом TCP, что позволило исключить из самого Modbus-пакета контрольную сумму. Это упрощает обработку сообщений, но требует более высокой вычислительной мощности от устройств для работы с сетевым стеком [4].

Масштабирование и применение. Modbus RTU идеально подходит для небольших локальных систем с ограниченным числом устройств, где не требуется высокоскоростной обмен. Это, например, системы управления климатом, локальные щиты автоматизации, учет энергоресурсов в пределах одного здания. Основным недостатком является ограничение на количество устройств и сложность диагностики сети при возникновении неполадок.

Modbus TCP ориентирован на крупные распределенные системы SCADA, интеграцию с облачными платформами и корпоративными информационными системами. Использование стандартных IT-инструментов для настройки и диагностики сетей Ethernet упрощает обслуживание. Однако стоимость внедрения таких систем выше из-за необходимости в коммутаторах, маршрутизаторах и более сложных контроллерах.

В рамках практической работы была реализована система сбора данных с использованием микроконтроллера семейства STM32 и интерфейса RS-485, работающего по протоколу Modbus RTU. Выбор STM32 обусловлен его широкой распространенностью, низкой стоимостью и наличием периферии, необходимой для работы с последовательными интерфейсами (USART).

Физическое подключение устройств осуществлялось по стандартной топологии "общая шина" с использованием кабеля на основе витой пары. Для согласования уровней напряжения между микроконтроллером (TTL 3.3V или 5V) и линией RS-485 применялась специализированная микросхема-трансивер MAX485. Важным аспектом аппаратной реализации является правильное управление режимом приема/передачи трансивера, так как RS-485 – это полудуплексная шина. Вывод RE/DE трансивера подключался к отдельной линии GPIO микроконтроллера для переключения направления передачи данных.

Программная часть, реализованная на языке C в среде разработки Keil uVision, включала в себя инициализацию периферии (USART, таймеры), реализацию протокольного уровня Modbus RTU и функции обработки данных.

Были реализованы базовые функции Modbus: чтение регистров хранения (Holding Registers) и чтение дискретных входов (Discrete Inputs). Структура пакета Modbus RTU формировалась следующим образом: адрес ведомого устройства (1 байт), код функции (1 байт), блок данных (переменная длина) и контрольная сумма CRC16 (2 байта). Для расчета CRC16 использовался табличный метод, обеспечивающий высокую скорость вычислений на ограниченных ресурсах микроконтроллера.

Экспериментальная проверка показала высокую стабильность связи на скорости 115200 бод при длине линии связи до 50 метров. Данный опыт подтверждает, что связка STM32 + RS-485 + Modbus RTU является оптимальным решением для создания недорогих, но надежных распределенных систем сбора данных и управления.

Несмотря на широкое распространение и очевидные достоинства, протокол Modbus обладает серьезными недостатками в области кибербезопасности. Разработанный в конце 1970-х годов, когда вопросы сетевой безопасности не стояли так остро, он изначально не предусматривал механизмов шифрования и аутентификации.

Отсутствие аутентификации означает, что любое устройство, способное отправить корректно сформированный пакет в сеть Modbus, может выступать в роли ведущего (master) и отдавать команды ведомым устройствам. Это создает угрозу несанкционированного доступа к управлению технологическим процессом. Атака типа «человек посередине» (Man-in-the-Middle) позволяет злоумышленнику перехватывать и подменять пакеты данных, передаваемые между контроллером и датчиками или исполнительными механизмами [5].

Передача данных в открытом виде (отсутствие шифрования) делает протокол уязвимым для пассивного перехвата информации. Злоумышленник, получив доступ к физической среде передачи (например, подключившись к шине RS-485 или войдя в сегмент сети Ethernet), может анализировать трафик и получать конфиденциальную информацию о технологических параметрах производства.

Для снижения этих рисков применяются различные методы защиты. На физическом уровне это обеспечение контролируемого доступа к оборудованию и кабельным трассам. На сетевом уровне – сегментация сетей АСУ ТП с помощью межсетевых экранов, выделяя трафик Modbus в изолированную среду, не имеющую прямого выхода в корпоративную сеть или интернет. Также используются специализированные шлюзы безопасности, осуществляющие глубокую инспекцию пакетов (DPI) и фильтрацию команд Modbus. Современные исследования предлагают методы усиления защиты на криптографическом уровне, например, внедрение легковесных алгоритмов верификации узлов, основанных на операции XOR с секретным ключом. Такие методы, будучи совместимыми с существующей реализацией протокола, вносят минимальные задержки (менее 2%) и позволяют эффективно противостоять атакам подмены, не требуя полной замены устаревшего парка оборудования [6].

Проведенные исследования показывают, что протокол Modbus несмотря на то, что существует больше 40 лет, остается востребованным и актуальным инструментом в области промышленной автоматизации. Простота, открытость и надежность в работе обеспечили ему широкое распространение и поддержку среди множества производителей оборудования. Сравнение версий Modbus RTU и Modbus TCP выявило четкое разделение областей их применения: RTU преобладает в локальных, экономически эффективных решениях на базе последовательных интерфейсов, в то время как TCP/IP является стандартом для масштабируемых, высокоскоростных систем, интегрируемых в современную IT-инфраструктуру предприятий.

Исследования подтверждают, что применение Modbus RTU для реализации схем на базе микроконтроллера STM32 является эффективной стратегией при создании распределенных систем сбора данных. Использование современных микроконтроллеров позволяет программно реализовать стек протокола с минимальными аппаратными затратами, что особенно актуально для построения недорогих и функциональных устройств автоматизации.

Главным вызовом при использовании Modbus в современных условиях является его врожденная уязвимость с точки зрения кибербезопасности. Отсутствие аутентификации и шифрования требует от разработчиков и интеграторов применения дополнительных мер защиты на различных уровнях – от физической изоляции сетей до внедрения специализированных криптографических надстроек. Но для применения в локальных устройствах этот недостаток не скажется на эффективности и работоспособности устройства.

Литература

- [1]. Основные понятия Modbus // Wrenboard Wiki. – URL: <https://wiki.wrenboard.com/wiki/Modbus> (дата обращения: 10.03.2026).
- [2]. Modbus // Справочник технического переводчика. – URL: <https://intent.gigatran.com/article/?id=84636> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. STM32 SDK быстрый старт // Wit-motion. – URL: <https://wit-motion.yuque.com/wumwnr/ltst03/gl4apn2s4xtg56s3> (дата обращения: 10.03.2026).
- [4]. Modbus RTU vs. Modbus TCP // Open Automation Software. – URL: <https://openautomationsoftware.com/blog/modbus-rtu-vs-modbus-tcp/> (дата обращения: 10.03.2026).
- [5]. Южаков А.А., Кротова Е.Л., Ощепков Н.В. Верификация узлов сети промышленного протокола Modbus // Вестник УрФО. Безопасность в информационной сфере. – 2025. – URL: <https://info-secur.ru/index.php/ojs/article/view/502> (дата обращения: 10.03.2026).
- [6]. Южаков А.А., Кротова Е.Л., Ощепков Н.В. Защита от атак в режиме RTU протокола Modbus на основе криптографической верификации узлов ведущий-ведомый // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 3. – URL: <https://moitvivi.ru/ru/journal/article?id=2021> (дата обращения: 10.03.2026).

ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: БЕЗОПАСНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Автоматизация промышленных предприятий приводит к росту потребности в системах, обеспечивающих интеллектуальный анализ данных, удалённый мониторинг и управление оборудованием. Одним из ключевых технологических ответов на эти вызовы является внедрение промышленного интернета вещей (IIoT), формирующего основу для цифровой трансформации производства. За 2025 год данное направление смогло вырасти на 15%, достигнув около 181 млрд рублей.

В общем, промышленный Интернет вещей представляет систему, которая включает комплекс взаимосвязанных элементов [1]:

1. Сенсорные датчики и устройства сбора данных, которые предназначены для фиксации показаний с разных приборов и производственно-технических механизмов (например, температурные сенсоры, измерители давления, двигательные и вибрационные датчики).

2. Сети передачи данных, которые обеспечивают обмен собранной информацией с центральной системой хранения и обработки, размещенной в «облаке» или на сервере. Для передачи данных могут использоваться разные каналы связи: беспроводные и проводные сети, широковещательные низко потребляющие сети и т.д.

3. Центры обработки данных, отвечающие за хранение, обработку и анализ полученной от сенсорных устройств информации, которые могут располагаться как локально, так и на сторонних сервисах (например, облачные платформы).

4. Инструменты статистического и интеллектуального анализа данных, позволяющие осуществить обработку данных от производственной среды, извлекать ценные выводы и оперативно реагировать на изменения внешнего окружения.

5. Программы мониторинга и управления, которые предоставляют пользователям удобные средства для визуализации производственного процесса и оперативного вмешательства в него. К подобным инструментам относят веб-интерфейсы, мобильные приложения и десктопное программное обеспечение.

Внедрение IIoT позволяет повысить эффективность промышленных процессов благодаря: росту производительности, автоматизации рабочих процессов, росту количества подключённых устройств, развитию стандартов коммуникации, расширению сфер применения.

Важнейшим аспектом развертывания масштабируемых и надежных IIoT-систем является решение проблем электропитания многочисленных и зачастую удаленных датчиков и контроллеров. В зависимости от места установки и требований к автономности применяются различные подходы.

Для стационарного оборудования наиболее надежным решением остается проводное питание от промышленной сети. Однако для датчиков, размещенных на перемещающихся объектах, в труднодоступных или удаленных местах, такой способ неприменим. В этих случаях используются аккумуляторы и батареи, рассчитанные на многолетнюю работу. Для максимального увеличения срока их службы применяются стратегии энергосбережения: микроконтроллеры устройств большую часть времени находятся в режиме сна с минимальным потреблением, «просыпаясь» лишь для выполнения измерений и передачи данных.

Другим перспективным направлением является энергохарвестинг – технология сбора и преобразования в электричество энергии из окружающей среды. Устройства IIoT могут оснащаться миниатюрными преобразователями для питания от вибраций работающих моторов, перепадов температур на поверхностях оборудования или даже от светового потока в цехе. Это позволяет создавать полностью автономные сенсорные системы, не требующие замены батарей. Выбор энергоэффективных протоколов связи, таких как LoRaWAN и NB-IoT, дополнительно минимизирует общее энергопотребление, делая такие решения экономически оправданными и практичными

С возрастанием важности системы промышленного интернета вещей возрастает и число угроз, которым она подвержена [2]. Некоторые угрозы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Потенциальные угрозы IIoT-систем

Угроза	Описание	Пример
Атаки через небезопасные прошивки и уязвимости оборудования	Проникновение на низкий уровень устройства для отключения систем безопасности или установки скрытого вредоносного кода	Критические уязвимости IP-камер позволяют получить удалённый доступ к изображению для просмотра, манипулирования или кражи данных
Атаки DDoS через IIoT-ботнеты	Злоумышленники захватывают контроль над компонентами. На них выполняется вредоносный код, который их объединяет в ботнеты – сети для атак	Атака на серверы крупных стриминговых платформ и социальных сетей, из-за которой работа сайтов была прервана
Перехват данных «человек посередине» (Man-in-the-Middle)	В сетях с недостаточным шифрованием злоумышленники могут перехватывать данные, изменять их или использовать для дальнейших действий	Взлом базы данных казино через термостат в аквариуме, нанеся игорному заведению серьёзный репутационный ущерб
Установка вредоносного ПО (Malware)	Злоумышленники внедряют вредоносные приложения. Такие заражённые устройства используют для шпионажа, создания ботнетов или саботажа	С 2019 по 2020 год ботнет Mozi был источником 90% глобального IIoT-трафика, заражая маломощные устройства, такие как роутеры и видеорекордеры

Продолжение таблицы 1 – Потенциальные угрозы ПоТ-систем

Взлом через слабые пароли и дефолтные настройки	Атакующие получают доступ к системе, поскольку входные данные уже известны или легко подбираются. После этого могут изменять настройки, устанавливать вредоносное ПО или использовать взломанное оборудование как точку входа в более защищённую сеть	Некоторые производители промышленного оборудования поставляют устройства, в которых невозможно поменять пароль

Для обеспечения безопасной эксплуатации систем промышленного интернета вещей необходима реализация комплекса взаимосвязанных мер. Ключевыми направлениями являются защита периметра и целостности системы. С этой целью критически важно проводить регулярное обновление прошивок с обязательной проверкой их цифровой подписи, а также осуществлять тщательный аудит и выбор сертифицированного оборудования на этапе внедрения. Для предотвращения сетевых атак, таких как DDoS и создание ботнетов, эффективными мерами являются сегментация сети, изолирующая устройства ПоТ от критической инфраструктуры, и использование систем обнаружения вторжений (IDS/IPS).

Не менее важна защита данных и контроль доступа. Для нейтрализации угроз перехвата информации необходимо повсеместное применение сквозного шифрования (TLS/SSL) и VPN-туннелей. На уровне отдельных устройств обязательна смена паролей по умолчанию, отключение неиспользуемых сервисов и внедрение многофакторной аутентификации. Также необходимо внедрение систем контроля целостности ПО и специализированных антивирусных решений для встроенных систем, что позволяет эффективно противостоять вредоносным программам.

Особое место в развитии ПоТ занимает интеграция в них технологий искусственного интеллекта (ИИ). Эти методы позволяют проводить анализ больших объёмов данных, собираемых с сетей датчиков, выявлять сложные закономерности, прогнозировать аномалии и оптимизировать производственные процессы в реальном времени. Например, ИИ-модели способны предсказывать отказы оборудования на основе вибрационных, температурных и акустических данных, что позволяет перейти от планового к предиктивному обслуживанию и значительно сократить простои. Другим направлением станет интеллектуальная поддержка принятия решений: методы ИИ смогут автоматически корректировать режимы работы установок, управлять энергопотреблением, адаптировать логистические потоки и даже координировать действия автономных роботов в рамках единой производственной среды.

С учетом сказанного, можно сделать вывод, что в ближайшей перспективе ПоТ должна превратиться из системы мониторинга в активную, самообучающуюся управляющую платформу, способную непрерывно повышать эффективность и надёжность промышленных объектов.

- [1]. Полный спектр оборудования для промышленного Интернета вещей (IIoT) / [Электронный ресурс] // IPC2U [сайт]. – URL: <https://ipc2u.ru/articles/obzory-produktov/industrial-iiot/> (дата обращения: 25.11.2025).
- [2]. Крепкая сеть. Что обеспечит безопасность интернета вещей / [Электронный ресурс] // СБЕР Про [сайт]. – URL: <https://sber.pro/publication/bezopasnost-iiot-ustroystv-interneta-veshei/?ysclid=mhf2bf2gvu830068876> (дата обращения: 25.11.2025).

*С.В. Антонов студ.; рук. В.В. Борисов д.т.н., профессор
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске»*

ИМПУЛЬСНОЕ СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОГНИТИВНЫХ КАРТ

Существуют сложные системы такие как: социальные, экономические, политические, экологические, социотехнические и т.д. Все эти системы содержат большое количество разнообразных объектов, связанных между собой различными связями. Такие системы плохо поддаются формализованному описанию и характеризуются неполнотой данных о внутренних процессах, а также высокой степенью неопределенности функционирования. Управление такими системами или адаптация к ним требуют трудоемких исследований и организационных решений. Поскольку проведение прямых экспериментов над такими системами затруднено вследствие большого объема информации, сложности получения экспериментальных данных, а также отсутствия дополнительной информации, возникает необходимость в предварительном имитационном моделировании, позволяющем проследить изменения системы, а также спрогнозировать последствия принимаемых управленческих решений. Одним из направлений моделирования таких систем и процессов является использование импульсного сценарного когнитивного подхода.

В этой статье предлагается развитие метода сценарного импульсного когнитивного моделирования на основе нечетких когнитивных карт для улучшения качества анализа состояния и поведения сложных систем и процессов.

Рассмотрим основные методы когнитивного моделирования на основе нечетких когнитивных карт. Нечёткая когнитивная карта (НKK) представляет собой ориентированный взвешенный граф, концепты являются факторами, возможное значение которых от 0 до 1 ($C_i \in [0,1]$), а дуги нечёткие (градуированные) причинно-следственные связи и принимающие значения от -1 до 1 ($w_{ij} \in [-1,1]$). Модель показывает функционирование системы во времени. НKK также может представляться в виде матрицы весов $W=[w_{ij}]n \times n$, где:

В НKK предложенных Б. Коско для обновления значений концептов используется выражение определения суммарного влияния концептов друг на друга [1]:

$$C_i(t + 1) = f\left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot C_j(t)\right),$$

где n – количество концептов, воздействующих на концепт C_i в НКК, а $f(x) = \frac{1}{1+e^{-\lambda x}}$ – сигмоидальная активационная функция ($\lambda > 0$, часто $\lambda = 1$).

Параметр λ управляет чувствительностью и динамикой системы.

В этой модели системной динамики не сохраняется состояние концепта на предыдущем шаге. Влияние зависит только от текущих значений других концептов. Это означает что при использовании данной модели системной динамики в НКК будет отсутствовать инерция состояния значений концептов.

Данную проблему решает инерциальная модель системной динамики, использующая выражение определения суммарного влияния концептов друг на друга:

$$C_i(t + 1) = f(C_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot C_j(t)),$$

В этой модели учитывается память концепта о его предыдущем состоянии. Для нахождения значения концепта на следующем шаге учитывается его значение на предыдущем шаге ($C_i(t)$). Это дает НКК свойство инерции состояния и позволяет более правдоподобно описывать изменение состояний концептов при моделировании.

Для моделирования различных сценариев развития и изменения сложной системы и процессов под влиянием внешних воздействий используется импульсное сценарное когнитивное моделирование. В импульсном сценарном когнитивном моделировании под влиянием различных внешних возмущений значения концептов в вершинах графа могут изменяться. Сигнал, поступивший в одну из вершин, распространяется по цепочке к другим вершинам. Этот сигнал может усиливаться или затухать [2]. В импульсном сценарном когнитивном моделировании используется следующее выражение [3]:

$$C_i(t + 1) = f\left(C_i(t) + \sum_{j=1}^n C_j(t)w_{ij} + \delta_i(t + 1)\right), \quad t \geq 0.$$

Данное выражение является расширением инерциального выражения когнитивного моделирования, давая возможность учитывать влияние внешних воздействий на изменение значений концептов в системе. В выражение ввели элемент описывающий импульс: $\delta_i(t + 1)$ – внешний импульс, подаваемый на концепт i в момент $t + 1$.

Но данное выражение не учитывает инерцию скорости распространения импульса по когнитивной карте. В этом методе учитывается только инерция состояния, но не инерция движения, это означает, что, используя данный метод не получится проследить как система реагирует на временной всплеск и когда возвращается в исходное состояние.

Для описания именно импульсной динамики когнитивной карты используется разностное выражение импульсного процесса на когнитивной карте:

$$C_i(t + 1) = C_i(t) + \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot (C_j(t)) - C_j(t - 1))$$

Данное выражение линейно относительно приращений, что дает возможность проводить спектральный анализ [4]. Важнейшей характеристикой модели является условие устойчивости: для затухания начальных возмущений спектральный радиус матрицы весов должен быть меньше 1. В противном случае система демонстрирует неограниченный рост или незатухающие колебания, что требует введения дополнительных механизмов нормализации.

Но в данном подходе система не развивается и не изменяется сама по себе без внешнего воздействия.

На основе анализа приведенных выше методов импульсного моделирования на основе НКК, разработан способ сценарного моделирования, учитывающий волновое распределение импульса для улучшения качества анализа моделирования сложных систем и процессов.

$$C_i(t + 1) = f \left(C_i(t) + \sum_{j=1}^n C_j(t) \cdot w_{ij} + \alpha \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot (C_j(t) - C_j(t - 1)) + \delta_i(t + 1) \right) \quad (1)$$

В данном выражении учитываются инерционные механизмы, равновесные тенденции и волновые эффекты. Данная модель объединяет 3 фундаментальных механизма изменения концептов, а именно:

- инерционную компоненту $C_i(t)$, обеспечивающую непрерывность траекторий;
- равновесную компоненту $C_j(t)w_{ij}$, отражающую стремление системы к аттрактору под влиянием текущих значений;
- волновую компоненту $w_{ij}(C_j(t) - C_j(t - 1))$, моделирующую распространение возмущений по когнитивной карте.

В предложенном выражении изменение значения концепта определяется в момент времени $(t + 1)$ пропорционально не только абсолютным значениям других концептов, но и их приращениям (импульсам) в момент t . Также для вычисления следующего состояния необходима информация о значениях концептов на двух предыдущих тактах, это позволяет моделировать инерционные процессы, где влияние от внешнего возмущения проявляется не мгновенно, а распределяется во времени.

Модель учитывает внешние воздействия $\delta_i(t + 1)$ и содержит сигмоидальную функцию активации f для обеспечения гарантии принадлежности значений данных допустимым диапазонам $[0,1]$ и для повышения наглядности сценарного анализа. Также в этом выражении используется волновой коэффициент α , необходимый для задания силы влияния инерции движения импульса по системе (таблица 1).

Таблица 1 – Сводная таблица значений волнового коэффициента

Диапазон значений волнового коэффициента	Характеристика для сценарного моделирования
0.0-0.2	Система практически не обладает памятью о предыдущих состояниях. Реакция на импульс δ_i мгновенная, но поверхностная.
0.3-0.5	Низкая инерционность. Система сглаживает краткосрочные возмущения, выход на равновесие монотонный, без перерегулирования.
0.6-0.7	Оптимальный режим. Умеренная память о тренде позволяет системе адаптироваться без потери устойчивости.
0.8-1	Высокая инерционность. Система «пролетает» точку равновесия, формируя затухающие колебания.

Способ использования предложенного метода для импульсного сценарного моделирования на основе НКК:

Шаг 1. Определение начального состояния системы

Шаг 2. Выбор значения волнового коэффициента из таблицы 1

Шаг 3. Выбор концептов, которым будут оказаны внешние воздействия перед каждым шагом итерации

Шаг 4. Используя выражение (1), на каждом шаге итерации происходит обновление значений концептов

Шаг 5. Анализ изменений значений концептов

На основе проведенного исследования предложен новый способ импульсного сценарного моделирования на основе НКК, учитывающий инерцию состояния, инерцию движения изменения значений концептов, а также влияние внешних воздействий на систему. Данный подход призван улучшить качество анализа состояния и поведения сложных систем и процессов.

- [1] Kosko B. Fuzzy cognitive maps, Int. J.Man-Machine Studies. 1986. Vol. 24. – P. 65–75
- [2] Гинис Л.А. Импульсное моделирование на нечетких когнитивных картах // Известия ЮФУ. Технические науки. 2006. №3 (58). С. 120-125.
- [3] Сосковец А.В. Сидельцев В.В. Импульсное когнитивное моделирование комплексной безопасности образовательной организации // Искусственный интеллект и принятие решений. 2026. №1
- [4] Новиков Д.А. Когнитивные игры: линейная импульсная модель // Проблемы управления. 2008. №3. С. 14-22.

*А.А. Бакулин, студ.; рук. В.П. Фомченков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ТЕХНИЧЕСКИЙ АУДИТ ВЕБ-РЕСУРСОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГА

В условиях цифровизации экономики веб-ресурсы коммерческих организаций стали ключевым каналом продвижения товаров и услуг. Однако медленные и технически неоптимизированные сайты теряют не только трафик, но и реальную прибыль. Согласно исследованию Liquid Web (2025), 67% предприятий теряют доходы из-за низкой производительности веб-ресурсов, а 26% сталкиваются с показателем отказов, превышающим 30% [1]. Метрики Core Web Vitals (CWV) напрямую влияют на позиции в поисковых системах, конверсию и возврат инвестиций (ROI) в цифровом маркетинге. Введенные Google на конференции I/O 2021 и ставшие обязательным фактором ранжирования с марта 2022 года, показатели CWV определяют не только техническое качество сайта, но и его коммерческую эффективность [2]. Это приводит к необходимости систематического технического аудита как инструмента оптимизации цифровых каналов продвижения.

Технический аудит веб-ресурсов представляет собой комплексную оценку технических характеристик интернет-платформы с целью выявления проблем, препятствующих эффективному продвижению товаров и услуг в цифровой среде. В отличие от контентного или маркетингового аудита, технический аудит фокусируется на инфраструктурных аспектах, определяющих техническую готовность веб-ресурса к выполнению бизнес-задач.

Технический аудит в контексте цифрового маркетинга выполняет три основные функции: диагностическую (выявление технических барьеров для продвижения), аналитическую (оценка влияния технических параметров на маркетинговые KPI) и прогностическую (определение потенциала улучшения бизнес-показателей). Объектами анализа выступают пять критических направлений. Во-первых, производительность веб-ресурса, включающая время загрузки страниц, отклик сервера и оптимизацию ресурсов. Во-вторых, доступность и индексируемость, определяющие возможность поисковых систем сканировать и индексировать контент (robots.txt, XML-карты сайта, метатеги). В-третьих, техническое SEO, охватывающее структуру URL, HTTP-коды состояния, каноничность страниц и архитектуру внутренних ссылок. В-четвертых, безопасность веб-ресурса, включая SSL-сертификацию, защиту от

уязвимостей и соответствие стандартам защиты данных. В-пятых, мобильная оптимизация, учитывающая отзывчивый дизайн и индексирование с приоритетом мобильных устройств, критически важную в условиях доминирования мобильного трафика, составляющего около 60% глобального веб-трафика [3, 4].

Центральным инструментом оценки технического качества веб-ресурса с точки зрения поисковой оптимизации являются показатели Core Web Vitals. Три основные метрики определяют качество взаимодействия пользователя с веб-страницей (Табл. 1.). Largest Contentful Paint (LCP) измеряет время загрузки основного контента страницы, при этом целевое значение составляет не более 2,5 секунд. Interaction to Next Paint (INP), заменивший First Input Delay в марте 2024 года, оценивает отзывчивость интерфейса при взаимодействии пользователя, с пороговым значением не более 200 миллисекунд. Cumulative Layout Shift (CLS) количественно характеризует визуальную стабильность страницы, предотвращая непреднамеренные клики из-за смещения элементов, с целевым показателем не более 0,1 [5]. Стоит отметить, что существуют и другие вспомогательные показатели, которые могут выступать в качестве косвенных метрик или дополнительных параметров к трем основным веб-показателям, расширяя охватываемую область анализа и помогая в диагностике конкретных проблем. К примеру, Time to First Byte (TTFB) и First Contentful Paint (FCP) являются важными аспектами процесса загрузки и полезны при диагностике проблем с LCP [5].

Таблица 1 – Метрики Core Web Vitals и их нормативные значения

Метрика	Описание	Целевое значение
LCP	Время от начала загрузки страницы до полной визуализации самого крупного элемента контента (главное изображение, видео, большой текст, баннер)	$\leq 2,5$ с
INP	Время между действием пользователя (клик, нажатие, ввод текста) и визуальным откликом браузера	≤ 200 мс
CLS	Совокупная доля непредвиденного смещения видимых элементов страницы во время загрузки и использования	$\leq 0,1$

Механизм влияния метрик Core Web Vitals на коммерческие результаты формируется через цепочку взаимосвязанных эффектов (Табл. 2). Низкие показатели производительности отражаются на пользовательском опыте, что напрямую влияет на поведенческие сигналы и позиции сайта в поиске. Так, плохое значение LCP (например, время загрузки свыше 4 секунд) ведет к росту показателя отказов, что воспринимается поисковыми системами как признак низкого качества взаимодействия с сайтом [6]. В результате позиции в органической выдаче Google и Yandex снижаются, поскольку CWV признаны подтвержденным фактором ранжирования. Падение видимости ресурса вызывает сокращение органического трафика, рост затрат на платное продвижение и, как следствие, уменьшение ROI.

Таблица 2 – Структура экономических эффектов от технической оптимизации веб-ресурсов

Направление эффекта	Механизм воздействия	Измеримый результат
Органический трафик	Улучшение позиций в поисковой выдаче за счет Core Web Vitals	Рост посещаемости
Стоимость привлечения	Повышение индекса качества в контекстной рекламе	Снижение цены клика и стоимости показов, рост коэффициент кликабельности
Конверсия	Улучшение пользовательского опыта и снижение отказов	Прямой рост коэффициента конверсии
Пожизненная ценность	Повышение удовлетворенности и лояльности	Рост повторных покупок

Аналогичный эффект наблюдается и для других метрик: медленный INP снижает долю успешно завершенных целевых действий, а высокий CLS вызывает раздражение у пользователей и приводит к ошибочным кликам. Совокупность таких негативных поведенческих сигналов дополнительно ухудшает позиции сайта, замыкая цикл снижения поисковой видимости и прибыльности.

Исследования показывают прямую связь между улучшением метрик производительности сайтов и ростом коммерческих показателей. Работа Google и Deloitte на основе анализа 30 млн сессий по 37 сайтам ведущих европейских и американских брендов демонстрирует, что ускорение мобильной загрузки всего на 0,1 секунды дает ощутимый прирост конверсий в 8,4% в розничной торговле, +10,1% в путешествиях, +40,1% переходов в люксе и +21,6% в лидогенерации, и при одновременном снижении отказов до 8,3%, росте среднего чека на 9,2% и просмотров страниц на 5-8% на всех этапах воронки продаж [7]. Другое исследование от Portent на 20 сайтах в B2B и B2C сегментах также подтверждает критическую значимость скорости: наиболее высокие показатели конверсии в электронной коммерции наблюдаются в промежутке от 1 до 2 секунд, составляя в среднем 3,05%, и снижаясь до 0,67% при загрузке за 4 секунды [6]. На рис. 1 представлены значения коэффициентов конверсии в электронной коммерции в зависимости от времени загрузки.

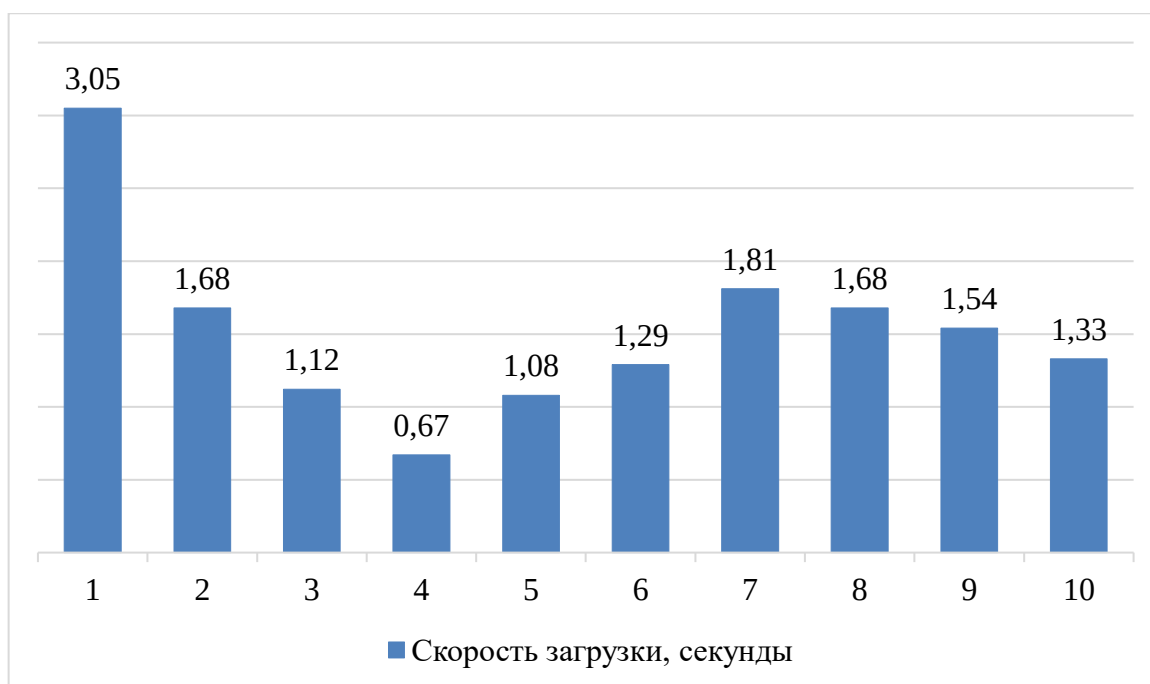


Рисунок 1 – Коэффициент конверсии в электронной коммерции

Для измерения Core Web Vitals и корреляции их с ключевыми показателями эффективности используется комбинированный подход, сочетающий синтетический и реальный мониторинг пользователей (Real User Monitoring, RUM). Синтетический мониторинг реализуется через инструменты Google Lighthouse, WebPageTest, GTmetrix, Yandex Monium и обеспечивает воспроизводимость тестов в контролируемых условиях, позволяя проводить сравнительный анализ изменений. RUM, основанный на Performance Observer API и Chrome User Experience Report, предоставляет данные о реальном опыте пользователей с учетом разнообразия устройств, сетевых условий и географического распределения аудитории [8]. Все это позволяет установить прямую связь между техническими метриками и бизнес-результатами: коррелировать изменения LCP с показателями отказов, INP с показателем успешности выполнения целевых задач, CLS с удовлетворенностью клиентов.

Процесс технического аудита структурируется в пять последовательных этапов. Первый этап – подготовительный, который включает определение целей аудита, выбор инструментария и установление базовых показателей. Второй этап – диагностический, предполагающий анализ технических параметров по выбранным направлениям (производительность, индексируемость, техническое SEO, безопасность, мобильная оптимизация). Третий этап – аналитический, заключающийся в приоритизации выявленных проблем на основе их влияния на бизнес-метрики и сложности устранения, с применением матрицы «влияние-усилия». Четвертый этап – рекомендательный, в ходе которого формируется дорожная карта оптимизации с детализацией конкретных технических решений, оценкой требуемых ресурсов и прогнозируемых результатов. Пятый этап – контрольный, устанавливающий систему непрерывного мониторинга ключевых метрик и верификации достигнутых улучшений [3].

Интеграция технического аудита в систему управления качеством веб-ресурсов требует организационных изменений на трех уровнях. Стратегический уровень предполагает формирование долгосрочной дорожной карты технической оптимизации, согласованной с бизнес-целями организации и маркетинговой стратегией. Операционный уровень включает установление регулярного мониторинга КРІ производительности с автоматизированными уведомлениями при отклонении от целевых значений, а также интеграцию проверок производительности в процесс разработки и развертывания изменений. Аналитический уровень предусматривает систематический расчет ROI от оптимизационных мероприятий и корреляционный анализ технических метрик с бизнес-показателями для обоснования инвестиций в техническое развитие [9].

Таким образом, технический аудит веб-ресурсов является ключевым элементом цифровой трансформации бизнеса, обеспечивающим связь между технической инфраструктурой и коммерческими результатами. Эмпирические данные подтверждают, что оптимизация показателей Core Web Vitals улучшает пользовательские поведенческие метрики, повышает позиции в поисковых системах и напрямую увеличивает конверсию, доход и ROI. Введение метрик CWV в качестве обязательного фактора ранжирования Google усилило значимость технического аудита как инструмента обеспечения конкурентоспособности. Для коммерческих организаций регулярный аудит перестает быть опциональной практикой и становится стратегической необходимостью, обеспечивающей конкурентное преимущество и устойчивый рост эффективности инвестиций в условиях высококонкурентной цифровой экономики.

Литература

- [1] The Impact of Downtime on Businesses [Электронный ресурс] // Liquid Web. URL: <https://www.liquidweb.com/press-releases/website-performance-study/> (дата обращения: 08.03.2026).
- [2] Timeline for bringing page experience ranking to desktop [Электронный ресурс] // Google Search Central Blog. URL: <https://developers.google.com/search/blog/2021/11/bringing-page-experience-to-desktop> (дата обращения: 08.03.2026).
- [3] How To Do Technical SEO Audit in 9 Steps Using Wellows [Электронный ресурс] // Wellows. URL: <https://wellows.com/blog/technical-seo-audit/> (дата обращения: 08.03.2026).
- [4] Рекомендации по мобильным сайтам и индексированию с приоритетом мобильного контента [Электронный ресурс] // Google Search Central. URL: <https://developers.google.com/search/docs/crawling-indexing/mobile/mobile-sites-mobile-first-indexing?hl=ru> (дата обращения: 08.03.2026).
- [5] Отчет о показателях Core Web Vitals [Электронный ресурс] // Google Справка Search Console. URL: <https://support.google.com/webmasters/answer/9205520?hl=ru> (дата обращения: 08.03.2026).
- [6] Site Speed is (Still) Impacting Your Conversion Rate [Электронный ресурс] // Portent. URL: <https://portent.com/blog/analytics/research-site-speed-hurting-everyones-revenue.htm> (дата обращения: 08.03.2026).
- [7] Demidova O. Milliseconds make millions [Электронный ресурс] // Web.dev. URL: <https://web.dev/case-studies/milliseconds-make-millions?hl=ru> (дата обращения: 08.03.2026).
- [8] Hempenius K. Getting started with measuring Web Vitals [Электронный ресурс] // Web.dev. URL: <https://web.dev/articles/vitals-measurement-getting-started> (дата обращения: 08.03.2026).
- [9] Page Load Time ROI Calculator [Электронный ресурс] // Bloomitize. URL: <https://bloomitize.com/calculator/page-load-time-roi-calculator> (дата обращения: 08.03.2026).

ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ

На рубеже XX-XXI веков человечество вступило в эру цифровой экономики, где информация стала одним из наиболее ценных ресурсов. Ежедневно генерируются колоссальные объемы данных: от финансовых транзакций и научных экспериментов до активности в социальных сетях. Однако простое накопление информации не имеет практического смысла без возможности ее качественной обработки и интерпретации. Именно поэтому анализ данных превратился в ключевой инструмент извлечения знаний, выявления закономерностей и принятия обоснованных решений во всех сферах – от бизнеса и государственного управления до фундаментальной науки.

Современный анализ данных представляет собой сложный многоэтапный процесс, включающий сбор, очистку, преобразование, моделирование и визуализацию информации. Выполнение этих задач вручную или с помощью примитивных средств давно невозможно, что привело к появлению обширного рынка специализированного программного обеспечения. Сегодня спектр доступных инструментов чрезвычайно широк: он простирается от простых табличных процессоров (Microsoft Excel, Google Sheets), доступных массовому пользователю, до сложных языков программирования (Python, R) с тысячами библиотек для статистической обработки и машинного обучения, а также мощных корпоративных платформ бизнес-аналитики (Power BI, Tableau), позволяющих в реальном времени строить интерактивные дашборды для управления компаниями. Особую нишу занимают инструменты для работы с «большими данными» (Hadoop, Spark), а в условиях импортозамещения активно развиваются отечественные разработки, такие как Платформа PolyAnalyst и ПО СтатСофт.

Многообразие программных продуктов порождает проблему выбора: для разных задач – будь то прогнозирование продаж, сегментация клиентов, научные расчеты или обработка потоковых данных – требуются различные инструменты со специфическим функционалом. Ошибка в выборе может привести к неоправданным затратам, снижению эффективности работы аналитика или получению поверхностных результатов.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью систематизации знаний о современном ландшафте программных средств анализа данных в условиях быстрого технологического развития. Целью работы является комплексный обзор и классификация существующих программных продуктов, а также определение оптимальных областей их применения в зависимости от характера решаемых задач и квалификации пользователя. Для достижения этой цели необходимо рассмотреть эволюцию инструментов анализа, провести их классификацию, выполнить сравнительный анализ наиболее популярных решений и оценить перспективы развития российского ПО в контексте

импортозамещения. Результаты работы могут быть использованы как методическое пособие для студентов, начинающих аналитиков и представителей бизнеса при выборе программного обеспечения.

Рассмотрим подробнее ключевые характеристики и особенности наиболее популярных программных продуктов для анализа данных, представленных на современном рынке.

Таблица 1 – Инструменты анализа данных

Название продукта	Преимущества инструмента	Стоимость
Python	Обработка и очистка данных (Pandas), машинное обучение (Scikit-learn, TensorFlow), визуализация (Matplotlib, Seaborn), работа с нейросетями, интеграция с базами данных.	Полностью бесплатно. Распространяется по лицензии Open Source (PSF License). Отсутствуют платные версии и подписки.
Microsoft Power BI	Создание интерактивных дашбордов, подключение к множеству источников данных, визуализация "drag-n-drop", публикация отчетов в облаке, интеграция с Excel и SharePoint.	Бесплатная версия: Power BI Desktop с ограниченным функционалом. Платные подписки: Power BI Pro (около 1000 руб./мес), Power BI Premium (от 5000 руб./мес). Есть корпоративные лицензии.
Tableau	Мощная визуализация данных, интуитивный интерфейс, работа с большими объемами данных, создание историй (сторителлинг), интеграция с различными БД.	Платная подписка: Tableau Creator (около 70\$/мес), Tableau Explorer (35\$/мес), Tableau Viewer (12\$/мес). Есть бесплатная ознакомительная версия на 14 дней. Для студентов и преподавателей – бесплатная лицензия на 1 год.
Платформа PolyAnalyst	Интеллектуальный анализ текста (Text Mining), визуальное программирование потоков данных, машинное обучение, кластерный анализ, извлечение сущностей из неструктурированного текста.	Коммерческая лицензия. Цена рассчитывается индивидуально под заказчика. Доступны корпоративные пакеты с технической поддержкой. Есть демоверсия по запросу. Включена в реестр отечественного ПО.
R	Широкий набор статистических методов (регрессия, кластеризация), качественная научная графика (ggplot2), анализ временных рядов, пакеты для биоинформатики.	Полностью бесплатно. Распространяется по лицензии GNU GPL (Open Source). Все дополнительные пакеты и библиотеки также бесплатны.
SQL	Написание запросов к базам данных, фильтрация и агрегация данных, объединение таблиц, создание представлений, управление структурами данных.	Зависит от конкретной СУБД: MySQL, PostgreSQL – бесплатно (Open Source). Microsoft SQL Server – от 900\$/мес (Enterprise), есть бесплатная версия Express. Oracle Database – от 350\$/мес (стандартная).
Excel	Сводные таблицы, базовые статистические функции, построение графиков и диаграмм, фильтрация данных, макросы (VBA), надстройки для расширенного анализа.	Разовые версии: Excel 2021 – около 8000 руб. Подписка: Microsoft 365 Personal (около 5000 руб./год), Microsoft 365 Family (около 7000 руб./год). Для

		корпоративных клиентов – от 400 руб./мес за пользователя.
Apache Spark	Пакетная и потоковая обработка больших данных, машинное обучение (MLlib), работа с SQL и графами, вычисления в оперативной памяти.	Бесплатно (Open Source, Apache 2.0).
Apache Hadoop	Распределенное хранение (HDFS) и обработка (MapReduce) больших данных на кластерах, управление ресурсами (YARN).	Бесплатно (Open Source, Apache 2.0).
Google Sheets	Облачные таблицы, совместная работа, интеграция с сервисами Google, ИИ-аналитика (Gemini), диаграммы, работа офлайн.	Бесплатно для личного использования. Платно в Google Workspace для бизнеса.
Yandex DataLens	Подключение к базам данных и файлам, создание датасетов, визуализация (более 15 типов чартов, карты), интерактивные дашборды, встраивание во внешние сайты, ИИ-агент «Нейроаналитик» для диалогового анализа.	Бесплатно: тариф Community без ограничений. Платно: тариф Business (индивидуальный расчет). Есть Open Source версия. Включен в реестр отечественного ПО.

В качестве сравнения этих программных продуктов выберем 2 самых популярных сервиса: «Google Sheets» и «Yandex DataLens».

Google Sheets представляет собой облачный табличный процессор, ориентированный на хранение, организацию и базовую обработку данных в табличной форме. Инструмент позволяет выполнять стандартные вычисления с помощью формул и функций, проводить сортировку и фильтрацию данных, строить основные типы диаграмм. Благодаря облачной архитектуре обеспечивается совместная работа нескольких пользователей в реальном времени с возможностью комментирования и отслеживания изменений. Продукт интегрируется с экосистемой Google, включая Google Analytics и Google BigQuery, что расширяет его аналитические возможности. Для личного использования Google Sheets предоставляется бесплатно, бизнес-версии доступны в рамках подписки Google Workspace. Простота освоения делает инструмент доступным для широкого круга пользователей без специальной подготовки. Его главные преимущества: бесплатность, легкость освоения и совместная работа. Основные недостатки связаны с ограничениями при работе с большими объемами данных и отсутствием профессиональных аналитических инструментов.

Yandex DataLens является BI-системой (бизнес-аналитикой), предназначенной для подключения к внешним источникам данных, их обработки и визуализации в форме интерактивных дашбордов. Продукт не хранит данные самостоятельно, а работает с базами данных (ClickHouse, PostgreSQL), файлами CSV, сервисами Яндекса (Метрика) и CRM-системами. Ключевые возможности включают объединение данных из различных источников, создание сложных вычисляемых полей, построение географических карт и более 15 типов чартов. Инструмент поддерживает разграничение прав доступа и встраивание отчетов во внешние сайты. Дополнительной функцией

является наличие ИИ-агента «Нейроаналитик» для диалогового анализа данных. Yandex DataLens предлагает бесплатный тариф Community с неограниченным числом пользователей и платный тариф Business с индивидуальным расчетом стоимости. Продукт включен в реестр отечественного программного обеспечения, что важно для российских компаний в контексте импортозамещения. Ключевые плюсы: масштабируемость, мощная визуализация, работа с разными источниками и соответствие требованиям импортозамещения. Минусы: более сложное освоение и отсутствие функций для ввода и первичного хранения данных.

На рисунке 1 представлено наглядное сравнение программных продуктов Google Sheets и Yandex DataLens по ключевым критериям.

Сравнительный анализ показывает, что инструменты имеют различное назначение. Google Sheets эффективен для ведения учета, списков, простых расчетов и организации совместной работы с таблицами. Однако при работе с большими объемами данных производительность снижается, а сложные аналитические задачи решаются с трудом. Yandex DataLens, напротив, ориентирован на профессиональный анализ: он позволяет обрабатывать миллионы строк, строить сложные отчеты и визуализировать показатели для мониторинга бизнеса. При этом инструмент требует понимания структуры данных и, для сложных сценариев, навыков SQL.

Таким образом, Google Sheets и Yandex DataLens не конкурируют, а дополняют друг друга. Google Sheets удобен для сбора и первичной обработки данных, а Yandex DataLens – для построения на их основе профессиональной аналитики и наглядных дашбордов, особенно в корпоративной среде с требованиями к импортозамещению и безопасности данных.

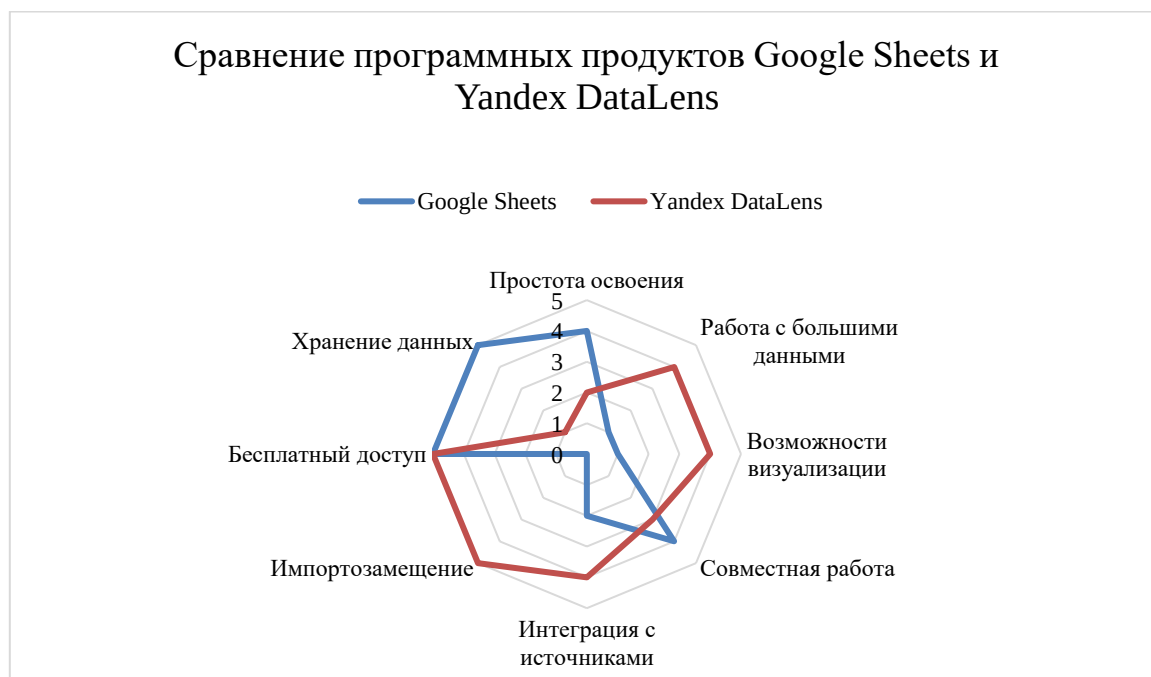


Рисунок 1 – Сравнение программных продуктов Google Sheets и Yandex DataLens

Анализ данных – необходимый стартовый этап разработки стратегии. На рынке представлено множество инструментов, подчеркивающих свои преимущества, но у каждого есть и слабые стороны: они могут затруднять сбор и анализ данных либо оставаться незаметными в работе.

В статье рассмотрены популярные сервисы для анализа данных: их изучение помогает сузить круг поиска. Чтобы выбрать подходящий инструмент, сначала нужно четко определить цели анализа, требуемый уровень детализации и типы данных. Для достижения оптимальных результатов по качеству, удобству и стоимости можно комбинировать разные сервисы для сбора, исследования, сортировки и визуализации информации.

Литература

- [1].Блог Karpov Courses. Аналитические инструменты: лучшие программы для обработки и анализа данных. – Режим доступа: <https://blog.karpov.courses/analiticheskie-instrumenty-luchshie-programmy-dlya-obrabotki-i-analiza-dannyh/> (дата обращения: 09.03.2026).
- [2].Молодая наука. Современные программные продукты для анализа данных. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/379/83970> (дата обращения: 09.03.2026).
- [3].Megaputer. Системы анализа данных: программы, как выбрать лучшее решение. – Режим доступа: <https://www.megaputer.ru/sistemy-analiza-dannyh-programmy-kak-vybrat-luchshee-reshenie/> (дата обращения: 09.03.2026).
- [4].CyberLeninka. Структура программного продукта для семантического анализа текстовой информации. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/struktura-programmnogo-produkta-dlya-semanticheskogo-analiza-tekstovoy-informatsii> (дата обращения: 09.03.2026).
- [5].Яндекс Практикум. Инструменты аналитика данных: 10 популярных инструментов. – Режим доступа: <https://practicum.yandex.ru/blog/instrumenty-analitiki/> (дата обращения: 09.03.2026).

*Э.К. Борисов, студ.; рук. Е.И. Рысина, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА УСЛУГ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В условиях высокой конкуренции на рынке маркетинговых коммуникаций, способность рекламного агентства точно и оперативно учитывать продажи своих услуг является критически важной для его стабильности. Тем не менее, внедрение современных информационных систем неизбежно порождает напряженность между потребностью сотрудников в быстром доступе к информации и необходимостью защищать конфиденциальные данные от внутренних угроз. Специфика работы рекламных агентств подразумевает обращение с крайне чувствительными данными, включая клиентские базы, информацию о медиабюджетах, договорные условия и стратегические медиапланы. Утечка такой информации может привести к катастрофическим последствиям, таким как потеря клиентов и серьезный репутационный ущерб. Существующая научная проблема заключается в отсутствии комплексных методологий, которые бы позволяли с самого начала проектирования систем

гармонично сочетать бизнес-процессы учета услуг с требованиями информационной безопасности. Это приводит к тому, что системы автоматизации внедряются в первую очередь, а меры защиты добавляются уже постфактум, создавая уязвимости в архитектуре хранения и обработки данных.

Актуальность вопроса подтверждается законодательными предписаниями, в частности, положениями Федерального закона [1], возлагающего на операторов обязанность по обеспечению информационной безопасности. Тем не менее, на практике многие организации испытывают затруднения при имплементации указанных норм в операционные процессы подразделений, отвечающих за учет и продажи. Это обусловлено дилеммой между эргономичностью систем и требуемым уровнем защиты, что нередко приводит к декларативному выполнению регламентов без существенного укрепления защищенности информационных систем.

Существующие подходы к решению данной проблемы в основном базируются на двух направлениях: использовании типовых платформ автоматизации (например, CRM-систем) с их встроенными ролевыми моделями разграничения доступа и применении периметровых средств защиты информации, соответствующих международным стандартам (например, ГОСТ [2]). Эти решения, как правило, предусматривают статическое назначение прав доступа, привязанное к должности пользователя, что обеспечивает базовый контроль и аудит. Дополнительно применяются организационные меры, такие как соглашения о неразглашении и обучение персонала, для формирования культуры безопасности и минимизации рисков, связанных с человеческим фактором. Однако, несмотря на эти усилия, наблюдается разрыв между технической реализацией и методологическими требованиями. Стандартные интерфейсы платформ не позволяют гибко настраивать доступ под специфические бизнес-процессы учета рекламных услуг, где, например, потребность в доступе к бюджету может быть ограничена лишь этапом согласования.

Анализ внедрения показывает, что текущие меры защиты учета услуг неэффективны. Основная причина – типовые ролевые модели, которые игнорируют контекст операций и динамическую чувствительность данных. Это открывает возможности для злоумышленников и инсайдеров, позволяя им легитимно выгружать большие объемы клиентской информации в рамках своих полномочий. Статичность настроек безопасности не позволяет адекватно реагировать на новые угрозы, например, на попытки массового экспорта данных перед увольнением или доступ к маржинальности услуг для сотрудников, чья работа этого не требует. Инциденты подтверждают, что избыточные привилегии пользователей являются частой причиной утечек. Кроме того, внедрение защитных мер после возникновения проблем часто приводит к усложнению интерфейсов и замедлению работы, что вызывает недовольство персонала и попытки обойти ограничения. В результате технические меры, предписанные регулятором, оказываются неэффективными, что диктует необходимость перехода к более адаптивным моделям управления доступом.

Для обеспечения высокого уровня безопасности в системе учета услуг рекламного агентства предлагается внедрить модуль динамического маскирования данных и контекстного аудита. Этот инновационный подход реализует принцип «безопасность по дизайну», позволяя гибко управлять видимостью данных на уровне отдельных полей. В отличие от устаревших решений, скрывающих целые разделы, наш инструмент анализирует контекст каждой операции и в реальном времени маскирует конфиденциальную информацию, если ее отображение не является необходимым. Это гарантирует, что сотрудники видят только те данные, которые им действительно нужны для выполнения своих задач. Структура разграничения прав доступа представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Матрица доступа и методов защиты данных в системе учета услуг.

Роль пользователя	Контактные данные клиента	Медиабюджет пакета	Маржинальность сделки	Мера защиты
Аккаунт-менеджер	Полный доступ	Полный доступ	Скрыто	Маскирование поля UI
Бухгалтер	Скрыто	Полный доступ	Полный доступ	Шифрование при хранении
Руководитель отдела продаж	Полный доступ	Полный доступ	Полный доступ	Двухфакторная аутентификация
Креативный продюсер	Частичный доступ	Скрыто	Скрыто	Запрет на экспорт данных

В ней демонстрируется дифференциация доступа к критическим атрибутам услуги, таким как медиабюджет, маржинальность и контактные данные, с применением различных методов защиты для каждой категории информации в специфике рекламного бизнеса.

Реализация данного решения основана на применении триггеров на уровне СУБД. Эти триггеры перехватывают запросы на выборку данных и динамически маскируют чувствительные поля, если роль пользователя не соответствует установленному уровню доступа. Дополнительно, интегрирована подсистема поведенческого анализа, предназначенная для фиксации аномальных паттернов активности, таких как нецелевой просмотр клиентских сущностей или попытки прямого взаимодействия с базой данных посредством SQL-инъекций. Данный функционал направлен на проактивное выявление инсайдерских угроз. Оценка эффективности предложенного подхода осуществляется посредством сравнительного анализа метрик безопасности до и после имплементации. Ключевыми критериями выступают: снижение количества избыточных привилегий пользователей, сокращение среднего времени реакции на инциденты утечки данных и уменьшение объема доступной сотрудникам информации, превышающей их функциональные полномочия. Интеграция требований безопасности в бизнес-логику системы учета обеспечивает синергию между юзабилити и защищенностью, минимизируя риски компрометации данных без потери операционной производительности. Данный подход соответствует регуляторным требованиям к построению комплексных систем защиты

информации в контексте обработки персональных данных и повышает общую устойчивость.

Литература

- [1]. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/ (дата обращения: 03.03.2026).
- [2]. ГОСТ Р ISO/IEC 27001-2021. Информационная технология. Методы и средства обеспечения безопасности. Системы менеджмента информационной безопасности. Требования. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181890> (дата обращения: 03.03.2026).
- [3]. Приказ ФСТЭК России от 18.02.2013 № 21 «Об утверждении Состав и содержания организационных и технических мер по обеспечению безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных данных». – URL: <https://fstec.ru/dokumenty/vse-dokumenty/prikazy/prikaz-fstek-rossii-ot-18-fevralya-2013-g-n-21> (дата обращения: 03.03.2026).

*П.Н. Василенко, студ.; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА MODBUS RTU ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Контроль параметров окружающей среды на производственных объектах относится к числу приоритетных задач обеспечения безопасности персонала и сохранности технологического оборудования. Отклонение значений температуры и влажности от установленных нормативов способно привести к снижению эффективности труда, возникновению профессиональных заболеваний или аварийным ситуациям [1, 2]. В настоящей работе рассматривается практическая реализация системы мониторинга на базе программируемых контроллеров производства ОВЕН с применением протокола Modbus RTU.

Принцип функционирования системы: панель оператора ОВЕН СПК207.03.00-CS-WEB выполняет функции Master-устройства, осуществляющего циклический опрос терморегуляторов ОВЕН ТРМ202 (Slave-устройства), соединённых посредством интерфейса RS-485. Терморегуляторы получают показания от датчиков температуры ТСП100 Pt (Pt100) и передают их в цифровом формате на панель оператора (рис. 1).

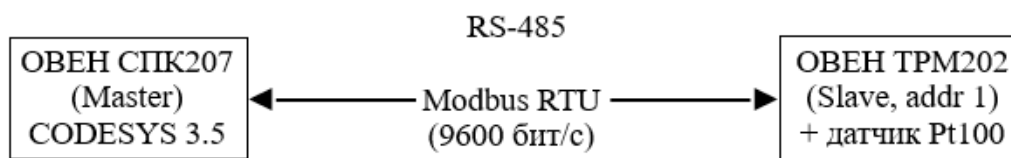


Рисунок 1 – Структурная схема системы мониторинга

Протокол Modbus получил широкое распространение в промышленной автоматизации благодаря открытой архитектуре и универсальности [3]. Для последовательных интерфейсов существуют две модификации протокола – Modbus ASCII и Modbus RTU [3, 4].

Modbus RTU использует двоичное кодирование пакетов данных. Преимуществом данной модификации является компактность кадра (каждый байт данных передаётся одним байтом), что обеспечивает более высокую скорость передачи по сравнению с Modbus ASCII. Недостатком выступает привязка к временным интервалам (таймаут между символами не должен превышать 1,5 времени передачи символа).

В контексте реализации системы мониторинга микроклимата, где требуется быстрый опрос датчиков (период опроса не более 1 секунды согласно технической документации к ТРМ202), применение Modbus RTU является оптимальным выбором [5].

Взаимодействие устройств в сети Modbus организовано по принципу «ведущий-ведомый». Каждый цикл обмена инициируется мастер-устройством (панель СПК207), которое формирует запрос к конкретному ведомому (ТРМ202). Ответное сообщение формируется только по запросу. При отсутствии ответа в течение 200 мс система фиксирует таймаут и переходит к следующему циклу опроса. В режиме RTU данные передаются в «сыром» двоичном виде без преобразования в текстовый формат, что минимизирует объём передаваемой информации. Синхронизация приёмника достигается за счёт анализа паузы между байтами – кадр считается завершённым, если интервал превышает 3,5 периода передачи одного символа.

Пример запроса ведущим устройством параметров температуры, начиная с адреса 1, приведён в таблице 1 (все значения приведены в шестнадцатеричном виде).

Таблица 1 – Структура запросного кадра протокола Modbus RTU

Элемент кадра	Шестнадцатеричное значение	Назначение поля
Адрес ведомого	01h	Адрес ТРМ202 в сети
Код функции	04h	Чтение входных регистров
Адрес регистра (старший)	00h	Старший байт адреса
Адрес регистра (младший)	02h	Младший байт адреса (регистр 2)
Количество регистров (старший)	00h	Старший байт количества
Количество регистров (младший)	01h	Чтение 1 регистра
CRC-16 (младший)	90h	Контрольная сумма
CRC-16 (старший)	45h	Контрольная сумма

Пример ответа от ведомого, содержащего значение температуры 25.0°C (значение в регистре 250, так как масштаб 10:1), приведён в таблице 2.

Таблица 2 – Состав ответного кадра от терморегулятора TRM202

Поле кадра	Значение (hex)	Описание
Адрес ведомого	01h	Адрес TRM202
Код функции	04h	Подтверждение функции
Количество байт данных	02h	2 байта данных в ответе
Данные (старший байт)	00h	Старший байт значения
Данные (младший байт)	FAh	250 = 25.0°C (масштаб 10:1)
CRC-16 (младший)	40h	Контрольная сумма
CRC-16 (старший)	52h	Контрольная сумма

Верификация корректности передаваемых данных в протоколе осуществляется посредством вычисления циклического избыточного кода CRC-16. В ходе исследования были апробированы два алгоритма верификации целостности данных:

1. Алгоритм прямого сравнения: приёмник самостоятельно рассчитывает CRC для принятой последовательности байтов и сравнивает результат с контрольной суммой из кадра. Идентичность значений подтверждает корректность передачи.

2. Алгоритм нулевого остатка: приёмник продолжает полиномиальное деление, включая байты CRC. При отсутствии ошибок итоговый остаток деления равен нулю [4]. Данный подход требует меньше вычислительных ресурсов и был выбран для реализации в проекте.

Контрольная сумма рассчитывается путём полиномиального деления последовательности байтов на генераторный полином 0x8005 с начальным значением 0xFFFF. При расчёте CRC все символы кадра учитываются.

Для реализации системы на стороне панели оператора СПК207 используется среда программирования CODESYS 3.5 SP11 [6]. Алгоритм опроса реализован на основе конечного автомата (State Machine), что обеспечивает непрерывный циклический режим работы без зависания задачи в течение длительного времени [7].

Программная реализация включает следующие функциональные блоки:

- fbComControl2: управление портом COM2 (настройка скорости 9600 бит/с, 8 бит данных, 2 стоповых бита, без чётности);
- fbTRM202: опрос модуля TRM202 по протоколу Modbus RTU;
- PV_2: массив для хранения считанных значений (температура, влажность);
- iStateCom2: переменная состояния автомата (0-3);
- tCycle: таймер между циклами опроса (20 мс).

Логика опроса датчиков реализована в виде конечного автомата с четырьмя состояниями. На этапе инициализации (состояние 0) выполняется однократная настройка параметров последовательного порта. Далее система циклически переходит между состояниями: формирование запроса (1) → запуск таймера паузы (2) → ожидание истечения интервала 20 мс (3) → возврат к формированию запроса. Такая организация исключает блокировку задачи и обеспечивает предсказуемое время цикла опроса.

Для тестирования работоспособности протокола со стороны ведомого устройства отслеживались значения выводов блока fbTRM202 xDone, xError и eError, а также значения переменных PV_2 и iStateCom2.

В ходе исследования были проведены измерения времени опроса датчиков при различных настройках системы. Результаты тестирования приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментальной проверки системы

Контролируемый параметр	Нормативное значение	Фактическое значение	Соответствие
Скорость передачи	9600 бит/с	–	Допустимо
Время опроса 1 датчика	850 мс	≤ 1000 мс	Допустимо
Восстановление связи	18 сек	≤ 30 сек	Допустимо
Количество датчиков	2 (расш. до 4)	≥ 2	Допустимо
Погрешность измерения	0.3%	$\leq 0.5\%$	Допустимо

Для восстановления связи после сбоя реализован алгоритм автоматического переподключения с таймаутом 200 мс на каждую попытку. При обрыве связи система фиксирует ошибку и пытается восстановить соединение автоматически. После 3 неудачных попыток формируется сигнал тревоги для оператора.

Для взаимодействия с оборудованием ОВЕН в проекте применяется библиотека OwenCommunication версии 3.5.11.7. Данная библиотека предоставляет высокоуровневый интерфейс для работы с последовательным портом, включая настройку параметров связи (скорость 9600 бит/с, 8N2), отправку и приём данных, а также управление состоянием соединения. Использование готовой библиотеки позволило сократить время разработки и повысить надёжность обмена данными.

Описанный протокол был использован в составе программного обеспечения системы контроля микроклимата, испытания которого прошли в условиях ООО «ПК Пролог». В ходе тестирования было выявлено, что при увеличении количества подключенных датчиков до 4 время полного цикла опроса увеличивается до 3.2 секунды, что остаётся в пределах допустимых значений для систем мониторинга производственных помещений. При искусственном обрыве линии RS-485 система восстанавливает связь в среднем за 18 секунд, что соответствует техническим требованиям используемого ведомого устройства TRM202.

Таким образом, данная реализация протокола Modbus RTU для обмена данными между панелью оператора и терморегуляторами может быть эффективна в современных системах автоматизации производственных помещений [8]. Для повышения защищённости системы в условиях критически важных производств рекомендуется дополнить физическую изоляцию линии RS-485 программной фильтрацией аномальных значений датчиков.

- [1]. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
- [2]. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- [3]. Modbus Application Protocol Specification V1.1b3. – Modbus-IDA, 2012. – 50 с.
- [4]. Лазарева Н.Б., Еремеев М.В. Разработка автоматизированной системы управления на Modbus-протокол // ИВД. 2024. №9 (117). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-avtomatizirovannoy-sistemy-upravleniya-na-modbus-protokol> (дата обращения: 25.02.2025).
- [5]. ОВЕН. Руководство по эксплуатации терморегулятора TPM202. – М.: ОВЕН, 2023. – 98 с.
- [6]. CODESYS Online Help. 3S – Smart Software Solutions GmbH.
- [7]. Павловская Т.А. Программирование на языке высокого уровня. – СПб.: Питер, 2021. – 461 с.
- [8]. Татарчевский В. Применение SWITCH-технологии при разработке прикладного программного обеспечения для микроконтроллеров. Часть 7 // Компоненты и Технологии. 2007. №72. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-switch-tehnologii-pri-razrabotke-prikladnogo-programmnogo-obespecheniya-dlya-mikrokontrollerov-chast-7> (дата обращения: 27.02.2025).

*П.Н. Василенко, студ.; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРОЙ НА БАЗЕ CODESYS 3.5

Сушильные камеры являются важным элементом технологических процессов в различных отраслях промышленности, от металлообработки до производства строительных материалов. Эффективность работы сушильной камеры напрямую влияет на качество конечной продукции, энергопотребление и производительность предприятия. Автоматизация управления сушильной камерой позволяет оптимизировать технологический процесс, снизить расход энергоресурсов и минимизировать влияние человеческого фактора.

Принцип работы сушильной камеры основан на создании и поддержании определённых параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха) в рабочей зоне. Конструктивно камера представляет собой агрегат, основой которого является рабочая камера, в которой при помощи тепловентиляционного блока и многоступенчатой фильтрации воздуха создаётся специальный микроклимат [1] (рис. 1).



Рисунок 1 – Структурная схема сушильной камеры

Для поддержания требуемых параметров микроклимата используются следующие исполнительные механизмы:

- задвижки приточной и вытяжной вентиляции;
- задвижка рециркуляции воздуха;
- ступени нагрева калориферов;
- вентиляционные блоки.

Управление задвижками осуществляется в зависимости от режима работы камеры (окраска, сушка, охлаждение, продувка). В режиме окраски задвижка рециркуляции устанавливается таким образом, чтобы входное отверстие вентилятора вытяжной вентиляции сообщалось с вытяжным воздуховодом окрасочной кабины, а входное отверстие вентилятора приточной вентиляции – с приточным воздуховодом [1]. В режиме сушки задвижка рециркуляции соединяет вход вентилятора вытяжной вентиляции с приточным каналом, в результате воздух начинает циркулировать по замкнутому кругу.

В рамках данной работы была разработана система управления сушильной камерой на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) с использованием среды программирования CODESYS 3.5 SP17 [2]. Личный вклад автора заключается в разработке архитектуры программного обеспечения, реализации алгоритмов управления исполнительными механизмами и создании системы мониторинга параметров процесса.

В таблице 1 указаны основные режимы работы сушильной камеры.

Таблица 1 – Режимы работы сушильной камеры

Режим	Температура, °C	Время, мин	Положение задвижек
Окраска	20–30	–	Рециркуляция закрыта
Продувка	20–30	5	Рециркуляция закрыта
Сушка	60	30–60	Рециркуляция открыта
Охлаждение	20–25	10–15	Рециркуляция закрыта

Архитектура программного обеспечения построена по модульному принципу и включает следующие основные компоненты:

1. Модуль управления задачами (Tasks Configuration)

Система использует три задачи с разными приоритетами и периодами выполнения:

- MainTask (100 мс) – основной цикл управления технологическим процессом.
- FastTask (10 мс) – быстрые проверки безопасности и аварийных ситуаций.
- SlowTask (1000 мс) – медленные сервисные функции (архивация, синхронизация).

2. Модуль управления задвижками (FB_DamperControl)

Функциональный блок реализует алгоритм управления тремя задвижками (приточная, вытяжная, перепускная). Время полного хода задвижек с электроприводом составляет 150–180 с. Для диагностики используется таймаут 180 секунд с коэффициентом запаса 1,2 [3].

3. Модуль управления нагревом (FB_HeatingControl)

Реализует импульсное управление 17 ступенями нагрева калориферов. Мощность калориферов распределена по ступеням для плавного регулирования (шаг ~2,95 кВт). Для предотвращения залипания контакторов применяется импульсное управление с периодом 30 с и длительностью импульса 2 с.

4. Модуль ПИД-регулятора температуры (FB_PIDController)

Классический ПИД-регулятор описывается уравнением:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t)dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt},$$

где $u(t)$ – управляющее воздействие (мощность нагрева, %), $e(t)$ – ошибка регулирования, K_p , K_i , K_d – коэффициенты регулятора [4].

Для объекта с большой инерцией (сушильная камера) применяется метод Зиглера-Николса для настройки коэффициентов. В разработанном проекте используются коэффициенты $K_p=30$, $K_i=500$, $K_d=50$, что соответствует более агрессивной настройке для ускорения выхода на уставку.

5. Модуль мониторинга и диагностики (FB_ErrorMonitor)

Осуществляет формирование битовых карт ошибок и предупреждений, управление сиреной, контроль целостности соединения с датчиками.

Особенностью реализации является использование конечного автомата (State Machine) для управления циклом сушки. Алгоритм последовательно переключает режимы: инициализация, окраска (20–30°C), продувка (5 мин), сушка (60°C), охлаждение и завершение цикла с архивацией данных.

Для проверки работоспособности системы было проведено тестирование на стенде в ООО «ПК Пролог», имитирующем производственную среду. Был задействован режим симуляции среды программирования CODESYS, позволяющий задавать произвольные значения входным переменным и анализировать реакцию алгоритмов управления в реальном времени. В ходе тестирования проверялись следующие параметры:

- время выхода на режим сушки;
- точность поддержания температуры;
- время срабатывания задвижек;
- реакция на аварийные ситуации.

Результаты тестирования приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты тестирования системы управления

Параметр	Требование	Значение	Результат
Время выхода на режим сушки	≤15 мин	12 мин	Допустимо
Точность поддержания температуры	±2°C	±1,5°C	Допустимо
Время срабатывания задвижек	≤180 с	165 с	Допустимо
Время реакции на аварию	≤1 с	0,8 с	Допустимо

В ходе эксплуатации системы были выявлены следующие преимущества разработанного решения:

- модульная архитектура позволяет легко масштабировать систему для камер различной производительности;
- использование ПИД-регулятора обеспечивает плавное изменение температуры без перерегулирования;
- система диагностики позволяет оперативно выявлять неисправности исполнительных механизмов;
- архивация данных каждые 5 минут обеспечивает возможность ретроспективного анализа процесса сушки.

Сравнение с традиционными системами управления на базе релейной логики показало следующие преимущества:

- снижение времени настройки параметров процесса на 40%;
- уменьшение расхода энергоносителей на 15–20% за счёт оптимизации алгоритмов нагрева;
- повышение точности поддержания температуры на 25%;
- сокращение времени простоя оборудования при переходе между режимами на 30%.

Для визуализации процесса сушки предусмотрена интеграция с панелью оператора через модуль FB_PanelSynchronization. Синхронизация параметров осуществляется по 8 битовым сигналам, что позволяет передавать уставки, текущие значения и статусы оборудования в реальном времени.

Важным аспектом разработки является обеспечение безопасности процесса. Выбор коммутационной аппаратуры и защита силовых цепей выполнены в соответствии с рекомендациями по проектированию электрических сетей, что обеспечивает надежность электроснабжения исполнительных механизмов согласно нормам проектирования [5]. Система включает следующие уровни защиты: контроль предельных значений температуры (аварийное отключение при $T > 80^{\circ}\text{C}$); мониторинг положения задвижек (блокировка нагрева при неправильном положении); контроль работы вентиляторов (остановка нагрева при остановке вентиляции); защита от повторного пуска (интервал между запусками не менее 30 мин).

Таким образом, разработанная система управления сушильной камерой на базе CODESYS 3.5 обеспечивает автоматизацию технологического процесса, повышение энергоэффективности и улучшение качества сушки изделий. Модульная архитектура программного обеспечения позволяет адаптировать систему для различных типов камер и технологических требований.

Перспективы развития системы включают внедрение предиктивной аналитики для прогнозирования остаточного ресурса оборудования; интеграцию с системой верхнего уровня (SCADA) для централизованного мониторинга; добавление функции удалённого доступа для оперативного контроля процесса; реализацию адаптивных алгоритмов управления для компенсации изменения характеристик оборудования в процессе эксплуатации.

- [1]. Фаскиев Р.С., Кеян Е.Г. Техническая эксплуатация окрасочно-сушильной камеры: методические указания. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 24 с.
- [2]. CODESYS Online Help. 3S – Smart Software Solutions GmbH.
- [3]. СО 34.30.604-00 Методические указания по балансировке многоопорных валов турбоагрегатов на электростанциях. – М.: АО "ВТИ", 2004. – 104 с.
- [4]. Овчаренко Н.И. Автоматика энергосистем: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 476 с.
- [5]. Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ЭНАС, 2012. – 376 с.

*П.В. Ваппаннов, студ.; рук. И.А. Денисова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРОКАТА СПОРТИВНОГО СНАРЯЖЕНИЯ

Современный рынок услуг активного отдыха и спорта в России демонстрирует устойчивый рост, обусловленный повышением интереса населения к здоровому образу жизни, развитием внутреннего туризма и сезонными видами активности [1]. Прокат спортивного снаряжения (горнолыжное оборудование, сноуборды, велосипеды, SUP-доски, беговые лыжи и др.) становится одним из ключевых сегментов, позволяющих снизить финансовый порог входа в занятия спортом и обеспечить доступность дорогостоящего инвентаря широким слоям населения. Однако большинство пунктов проката до сих пор функционируют в традиционном формате: ручной учёт оборудования, бумажный документооборот, визуальный контроль технического состояния и последовательное обслуживание клиентов приводят к значительным операционным потерям.

Традиционные процессы проката характеризуются высокой вероятностью ошибок в учёте остатков и статуса инвентаря, что проявляется в двойных выдачах, потерях позиций и несвоевременном выявлении износа. Особенно остро эти проблемы ощущаются в периоды сезонных пиков, когда поток клиентов резко возрастает, а сотрудники физически не успевают отслеживать изменения в реальном времени. Длительное оформление аренды (в среднем 15 минут на клиента в пиковые часы) вызывает образование очередей, снижение пропускной способности пункта и прямые финансовые потери от ушедших потенциальных клиентов. Низкая прозрачность процессов ограничивает доступ к актуальной информации о наличии и статусе оборудования, что приводит к постоянным конфликтам и недовольству. В совокупности эти ограничения снижают оборачиваемость активов, увеличивают издержки, способствуют потере клиентов из-за неудобного сервиса и ухудшают общую конкурентоспособность пункта проката [2].

Внедрение информационных технологий и разработка специализированных веб-систем открывают возможности для кардинальной оптимизации этих бизнес-процессов. Исследования в области процессного управления и автоматизации услуг показывают, что переход к цифровым платформам позволяет моделировать и автоматизировать все ключевые операции, обеспечивая повышение точности учёта ресурсов, существенное сокращение временных затрат на оформление и заметное улучшение качества клиентского обслуживания [3].

Веб-ориентированные системы переводят процессы в цифровую среду, где операции выполняются автоматически и в реальном времени. Клиент получает возможность дистанционного оформления заказа через браузер в любое удобное время без необходимости ехать в пункт проката заранее. Он самостоятельно выбирает оборудование, задаёт параметры, видит актуальное наличие, сравнивает варианты и бронирует позицию онлайн. После подтверждения брони клиент может забрать заказ в удобное для него время в рамках работы пункта, что особенно ценно для тех, кто планирует поездки заранее или имеет ограниченное время. Это полностью устраняет проблему очередей и длительного ожидания на месте, делая процесс аренды максимально гибким и комфортным.

Автоматическое управление остатками через централизованную базу данных предотвращает двойные продажи и расхождения в учёте даже в самые загруженные дни. Автоматизация документооборота и расчётов формирует электронные договоры, поддерживает онлайн-оплату и мгновенный возврат средств, а также отправляет автоматические уведомления о подтверждении, напоминаниях о возврате и акциях. Всё это значительно повышает удобство и доверие клиента к сервису.

Дополнительным преимуществом становится возможность онлайн-консультации: клиент может задать вопросы менеджеру через встроенный чат, мессенджеры или форму обратной связи прямо на сайте. Такой подход позволяет получить быстрый профессиональный совет по выбору снаряжения, размеру или особенностям использования, что особенно важно для новичков и повышает уверенность в покупке услуги.

В результате нагрузка на сотрудников существенно снижается: они освобождаются от рутинного оформления договоров, ручного поиска инвентаря и постоянного ответа на одни и те же вопросы. Это даёт возможность уделять больше внимания живому общению с клиентами на выдаче, индивидуальным рекомендациям и контролю качества сервиса. Клиент воспринимает пункт проката как современный, удобный и заботливый сервис – с прозрачным наличием, гибким графиком получения заказа, быстрыми ответами и минимальными ожиданиями.

Для наглядного представления преимуществ цифровизации процессов проката основные различия между традиционным и автоматизированным подходом приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Преимущества автоматизированной веб-системы проката по сравнению с традиционным методом

Аспект	Традиционный пункт проката (ручной метод)	Автоматизированный пункт проката (веб-система)	Преимущества для клиента	Преимущества для пункта проката
Оформление аренды	10–20 мин на клиента, бумажный договор, очереди	Полное онлайн-оформление, выдача за 1-3 минуты	Экономия времени, отсутствие очередей	Значительный рост пропускной способности пункта
Бронирование	Только на месте, в часы работы пункта	Дистанционное бронирование 24/7, выбор удобного времени получения	Полная гибкость планирования, можно оформить заранее	Равномерная загрузка в течение дня, меньше пиковых нагрузок
Доступ к информации о наличии	Ручная проверка по журналу, часто неточности	Отображении информации в реальном времени	Уверенность в наличии нужного товара	Исключение двойных продаж и ошибок учёта
Консультации и поддержка	Только очно или по телефону (ожидание)	Онлайн-чат прямо на сайте, обращение на почту и в мессенджерах	Быстрый ответ в удобном формате	Снижение нагрузки на сотрудников
Оплата и документы	Наличные/терминал, бумажные договоры	Онлайн-оплата, электронный договор, мгновенный возврат залога	Удобство, безопасность, отсутствие работы с бумажными документами	Ускорение расчётов, снижение ошибок в документах
Общая привлекательность для клиента	Низкая (ожидание, отсутствие гибкости, неудобное оформление)	Высокая (современный сервис, удобство, прозрачность)	Современный и удобный сервис, быстрое оформление аренды	Рост лояльности, увеличение повторных обращений и выручки

Как видно из таблицы 1, внедрение веб-систем даёт существенный выигрыш как для клиента (гибкость, скорость, удобство), так и для пункта проката (снижение нагрузки на персонал, повышение пропускной способности и лояльности).

Чтобы подтвердить актуальность проблемы и оценить ожидаемый эффект от цифровизации, был проведён анонимный онлайн-опрос среди 30 респондентов основной целевой аудитории (возраст 18-35 лет). Результаты опроса показали высокую остроту существующих недостатков: 80% отметили очереди и долгое оформление как главные барьеры, а 70% готовы отказаться от аренды при ожидании более 10 минут. При этом 83% респондентов высоко оценили возможность дистанционного оформления и получения заказа в удобное время, а средняя оценка важности онлайн-бронирования составила 4,7 балла из 5. 73% опрошенных готовы использовать онлайн-консультацию через чат, а 70% – платить на 5-10% больше за современный цифровой сервис. Общую привлекательность цифрового сервиса отметили 93% респондентов.

Для визуализации ключевых показателей опроса результаты были приведены к 100–балльной системе и отображены в виде столбчатой диаграммы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Столбчатая диаграмма результатов опроса

На диаграмме явно видно, что большинство респондентов испытывает неудобство при взаимодействии с традиционными пунктами проката спортивного снаряжения, а подавляющее большинство отмечает удобство современных методов.

Таким образом, необходимость перехода к автоматизированным решениям на базе информационных технологий очевидна. Цифровизация процессов проката спортивного снаряжения идёт на пользу бизнесу в целом: она повышает эффективность использования ресурсов, снижает операционные риски, улучшает клиентский опыт и усиливает конкурентные позиции пунктов проката на рынке услуг активного отдыха. Такие изменения не просто устраняют текущие недостатки, но и создают основу для дальнейшего роста и адаптации к ожиданиям потребителей.

Литература

- [1]. Ветитнев, А. М. Информационные технологии в туристской индустрии : учебник для академического бакалавриата / А. М. Ветитнев, В. В. Коваленко, В. В. Коваленко. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 340 с.
- [2]. Репин В. В. Бизнес-процессы. Моделирование, внедрение, управление. – 2-е изд. – М.: Манн, Иванов и Фербер, 2014. – 512 с.
- [3]. Калянов Г.Н. Моделирование, анализ, реорганизация и автоматизация бизнес-процессов: учеб. пособие – М.: Финансы и статистика, 2006. – 240 с.

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ТРЕНАЖЕРА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АССИСТЕНТОМ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Современное образование активно трансформируется под влиянием цифровых технологий. Одним из наиболее перспективных направлений становится интеграция больших языковых моделей (LLM) в образовательные процессы. Интеллектуальные ассистенты на основе LLM способны персонализировать обучение, объяснять сложные темы и адаптироваться к индивидуальному темпу студента.

Согласно аналитическому отчёту компании The Business Research Company, в 2024 году объём мирового рынка применения больших языковых моделей в образовании составил 3,44 млрд долларов США, а к 2029 году, по прогнозам, достигнет 24,19 млрд долларов США при среднегодовом темпе роста 47,7% (рис. 1) [1].



Рис. 1. Прогноз роста рынка LLM в образовании за 2024-2029 гг.

Несмотря на рост числа образовательных платформ с ИИ-функциями, многие существующие решения либо ограничены в функциональности, либо используют универсальные модели, не оптимизированные для педагогических задач. В связи с этим актуальной становится разработка специализированной архитектуры веб-тренажера с интеллектуальным ассистентом, ориентированной на образовательный процесс.

Целью данной работы является описание архитектуры такого тренажера и сравнение предлагаемого подхода с существующими решениями.

В настоящее время существует ряд образовательных платформ, интегрирующих большие языковые модели (LLM) для помощи студентам.

Анализ этих решений позволяет выделить различные подходы к использованию технологии – от создания собственного контента до внедрения интерактивных ассистентов. Ниже рассматриваются три платформы, представляющие как российский, так и зарубежный опыт: Stepik, Duolingo и Khan Academy.

1. Stepik

Одной из крупнейших российских образовательных платформ является Stepik, объединяющая миллионы пользователей и тысячи курсов по различным направлениям. Важно отметить, что сама платформа на данный момент не имеет встроенного LLM-ассистента или собственной языковой модели. Однако на Stepik активно развивается направление обучения работе с большими языковыми моделями: авторы публикуют специализированные курсы по промпт-инжинирингу, созданию AI-ассистентов и разработке LLM-приложений для реальных задач [2, 3]. Таким образом, Stepik выступает ключевой инфраструктурой для распространения знаний в области LLM среди российских разработчиков, формируя сообщество специалистов, способных создавать собственные интеллектуальные ассистенты.

2. Duolingo

В зарубежной практике ярким примером использования LLM является платформа для изучения языков Duolingo. В 2023 году была представлена премиум-подписка Duolingo Max, где на базе GPT-4 работают функции «Explain My Answer» (объяснение ошибок) и «Roleplay» (диалоги с AI-персонажами для отработки реальных ситуаций) [4]. Помимо пользовательских функций, LLM применяются для ускорения внутренней разработки уроков. В компании используется подход детальных промптов, ограничивающих генерацию контента и направляющих модель в соответствии с педагогическими задачами [4]. Этот пример демонстрирует ключевую роль промпт-инжиниринга в создании предсказуемых и качественных образовательных материалов на основе LLM.

3. Khan Academy

Особого внимания заслуживает подход некоммерческой образовательной платформы Khan Academy, которая интегрировала GPT-4 в экспериментального ассистента Khanmigo [5]. В отличие от коммерческих решений, Khanmigo ориентирован на педагогические принципы: он не выдаёт готовых ответов, а задаёт наводящие вопросы, направляя студента к самостоятельному решению (сократовский метод). Ассистент использует сократовский метод обучения: вместо готовых ответов он задаёт наводящие вопросы, помогая студенту прийти к решению самостоятельно [5]. Опыт Khan Academy подтверждает общую тенденцию: даже имея доступ к самым мощным моделям, разработчики ограничивают свободу LLM с помощью специальных промптов и правил взаимодействия, чтобы ассистент вёл себя предсказуемо и следовал педагогическим принципам.

Проведённый анализ существующих образовательных платформ (таблица 1) показывает, что, несмотря на активное внедрение LLM, каждое решение имеет ограничения: Duolingo Max доступен лишь по платной подписке и не

ориентирован на российских пользователей, Khanmigo функционирует только в США, а Stepik, хотя и предоставляет обширную базу знаний, не имеет встроенного ассистента. Таким образом, сохраняется потребность в разработке архитектуры веб-тренажера с интеллектуальным ассистентом, адаптированной для российского образовательного контекста и доступной для интеграции в учебные курсы.

Таблица 1 – Сравнение интеграции больших языковых моделей в образовательные платформы

Платформа	Тип доступа	Интеграция LLM	Образовательные функции	Доступность в РФ
Stepik	Открытый	Не имеет встроенной LLM	Рекомендации курсов	Полная
Duolingo	Проприетарный	GPT-4	Объяснение ошибок, ролевые диалоги, генерация заданий	Ограничена (платная подписка)
Khan Academy	Открытый	GPT-4 (Khanmigo)	Персональный ассистент. (Репетитор по математике, программированию, подготовка к экзаменам, исторические диалоги, дебаты)	(функционирует только в США, платная подписка)
Разрабатываемая архитектура	—	API GigaChat/ OpenAI	Адаптивные объяснения на основе готовых промптов	Высокая

Обобщая представленные в таблице данные, можно выделить ключевые требования к перспективному решению: оно должно обеспечивать предсказуемость поведения ассистента (как в Khan Academy), использовать преимущества промпт-инжиниринга для управления генерацией (как в Duolingo) и быть доступным для российских пользователей (в отличие от зарубежных аналогов).

Предлагаемая архитектура развивает успешные подходы рассмотренных платформ. Как и в Duolingo, предполагается использование детальных промптов для управления генерацией, а поведение ассистента, подобно Khanmigo, ограничивается педагогическими принципами (например, направление студента к решению через подсказки). Ключевой особенностью разрабатываемого тренажера является применение заранее подготовленных промптов для каждого типа учебных задач. Такой подход опирается на современные исследования в области промпт-инжиниринга: Лукинский и Горшенева [6] отмечают, что эффективное взаимодействие с ИИ требует не только знания предмета, но и владения стратегиями формулировки запросов – постановки цели, определения

контекста и итеративной настройки. Использование готовых, научно обоснованных промптов позволяет сделать ассистента предсказуемым и педагогически валидным даже для пользователей, не обладающих глубокими навыками промпт-инжиниринга.

Взаимодействие компонентов разрабатываемой системы осуществляется следующим образом (рис. 2):

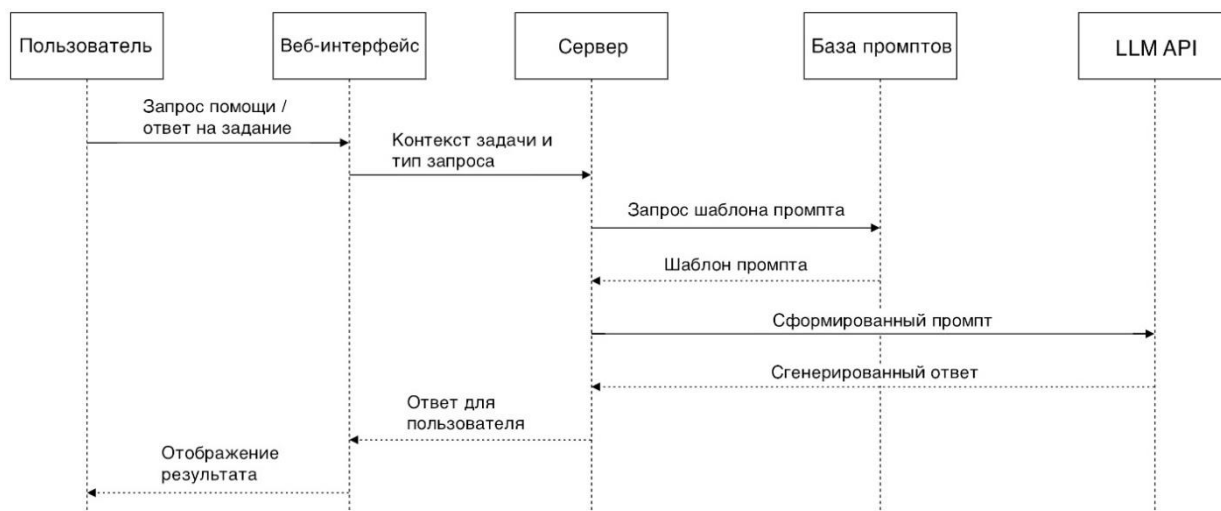


Рис. 2. Диаграмма последовательности

1. Пользователь (студент) через веб-интерфейс отправляет запрос.
2. Веб-интерфейс (фронтенд) передаёт на сервер контекст задачи (тему, тип запроса, при необходимости – ответ пользователя).
3. Сервер (бэкенд) на основе полученных данных определяет тип учебной задачи и обращается к базе промптов за соответствующим шаблоном.
4. База промптов возвращает серверу готовый шаблон, содержащий ролевую установку, ограничения и желаемую структуру ответа.
5. Сервер формирует итоговый промпт, подставляя в шаблон конкретные данные задачи (например, условие примера или вопрос студента), и отправляет его к LLM-модулю через API.
6. LLM-модуль (GigaChat или OpenAI) генерирует ответ и возвращает его на сервер.
7. Сервер обрабатывает полученный ответ и передаёт его в веб-интерфейс.
8. Веб-интерфейс отображает сгенерированное ассистентом объяснение или подсказку пользователю.

Отдельным компонентом выделяется база заранее подготовленных промптов. Для каждого типа учебных задач (объяснение понятия, проверка понимания, подсказка к решению) в ней хранится шаблон промпта, разработанный с учётом педагогических принципов и исследований в области промпт-инжиниринга [6].

Шаблоны содержат следующие элементы:

- ролевой контекст – определяет роль ассистента;

- ограничения – задают рамки генерации ответа;
- структура ответа – определяет порядок объяснения.

При необходимости шаблон динамически дополняется конкретными данными задачи – например, условием примера, вопросом студента или его предыдущим ответом. Это позволяет адаптировать генерацию под индивидуальную ситуацию, сохраняя при этом общую предсказуемость и педагогическую направленность ассистента.

Таким образом, в ходе проведённого исследования были рассмотрены особенности интеграции больших языковых моделей в образовательные веб-тренажёры, проанализирован современный рынок LLM-решений в образовании, выявлены подходы к использованию языковых моделей на платформах Duolingo, Khan Academy и Stepik, а также предложена архитектура веб-тренажера с интеллектуальным ассистентом на основе заранее подготовленных промптов. Дальнейшее развитие данной технологии может способствовать появлению новых методов персонализированного обучения и расширению практик использования искусственного интеллекта в высшем образовании.

Литература

- [1]. Large Language Models (LLMs) in Education Global Market Report 2025 [Электронный ресурс]. – London: The Business Research Company, 2025. – URL: <https://www.researchandmarkets.com/reports/6103747/large-language-models-llms-in-education-global> (дата обращения: 09.03.2026).
- [2]. Создание AI ассистентов для ИТ инфраструктуры [Электронный ресурс] // Stepik. – 2025. – URL: <https://stepik.org/a/248396> (дата обращения: 09.03.2026).
- [3]. Внедряем AI ассистентов в разработку | AI DevTools [Электронный ресурс] // Stepik. – 2025. – URL: <https://stepik.org/a/230403> (дата обращения: 09.03.2026).
- [4]. Henry P. How Duolingo uses AI to create lessons faster [Электронный ресурс] // Duolingo Blog. – 2023. – URL: <https://blog.duolingo.com/large-language-model-duolingo-lessons/> (дата обращения: 09.03.2026).
- [5]. Khan S. Harnessing GPT-4 so that all students benefit. A nonprofit approach for equal access [Электронный ресурс] // Khan Academy Blog. – 2023. – URL: <https://blog.khanacademy.org/harnessing-ai-so-that-all-students-benefit-a-nonprofit-approach-for-equal-access/> (дата обращения: 09.03.2026).
- [6]. Лукинский И. С., Горшенева И. А. Промт-инжиниринг в образовательном процессе и научной деятельности, или к вопросу о необходимости обучения работе с искусственным интеллектом // Психология и педагогика служебной деятельности. – 2024. – № 4. – С. 148–154. – DOI: <https://doi.org/10.24412/2658-638X-2024-4-148-154> – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/promt-inzhiniring-v-obrazovatelnom-protsesse-i-nauchnoy-deyatelnosti-ili-k-voprosu-o-neobhodimosti-obucheniya-rabote-s-viewer> (дата обращения: 09.03.2026).

АРХИТЕКТУРА ЗАЩИТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АВТОЭНКОДЕРА

В настоящее время внедрение технологий Интернета вещей (Internet Of Things, IoT) способствует массовому подключению к сети датчиков, контроллеров, бытовых устройств и промышленных модулей. По оценкам отраслевых аналитиков, количество IoT-устройств уже исчисляется десятками миллиардов, и эта цифра продолжает расти [1]. При этом большинство таких устройств имеют ограниченные вычислительные ресурсы, упрощённые операционные системы и редко обновляемое программное обеспечение. В результате формируется уязвимая распределённая среда, где стандартные механизмы информационной безопасности оказываются недостаточно эффективными. Проблема усугубляется тем, что атаки на IoT-инфраструктуру часто носят разнообразный характер и маскируются под легитимный трафик. В этих условиях становится актуальной задача разработки новых методов обеспечения информационной безопасности Интернета вещей на основе инструментов искусственного интеллекта (ИИ), способных адаптироваться к изменяющимся сценариям атак. Целью данной статьи является формирование алгоритмического подхода к интеллектуальному обнаружению аномалий в сетевом взаимодействии IoT-устройств с учётом их ограниченных ресурсов и гетерогенности.

Предметная область включает распределённые IoT-сети, в которых устройства взаимодействуют через шлюзы и облачные платформы. На сегодняшний день для защиты таких систем применяются классические средства: сигнатурные системы обнаружения вторжений, межсетевые экраны, механизмы шифрования и аутентификации [2]. Сигнатурные методы эффективны против известных угроз, например DDoS-атак, ботнет-активности и распространения вредоносного программного обеспечения для IoT, но из-за привязки к заранее заданным шаблонам они не позволяют выявлять новые типы атак [1]. Поведенческие методы, основанные на заранее заданных правилах, требуют ручной настройки и плохо масштабируются при увеличении числа устройств. Дополнительной проблемой является высокая доля ложных срабатываний, что приводит к избыточной нагрузке на администраторов и инфраструктуру. Кроме того, централизованный анализ трафика создаёт единую точку отказа и увеличивает задержки при обработке данных.

В ряде работ предлагается использовать методы машинного обучения для классификации сетевого трафика IoT. На практике чаще всего используются случайный лес, градиентный бустинг и нейронные сети. Так, в обзорной работе Murat Kuzlu, Corinne Fair и Ozgur Guler рассматривается роль искусственного интеллекта в кибербезопасности Интернета вещей. Авторы приводят примеры исследований, где нейронные сети на уровне шлюза используются для

выявления аномалий. Также описывается применение моделей глубокого обучения для обнаружения атак отказа в обслуживании на наборах данных класса CICIDS и анализируются ИИ-подходы к детектированию и оценке атак в промышленных IoT-системах [1]. Такие модели действительно повышают точность выявления ботнет-активности и сканирования портов. Однако во многих решениях обучение организовано централизованно и требует передачи большого объёма данных в облако, что противоречит требованиям к конфиденциальности и увеличивает нагрузку на каналы связи. Кроме того, модели быстро устаревают при изменении поведения устройств.

На основе приведённых примеров видно, что для защиты IoT применяются различные классы ИИ-методов – от классических алгоритмов машинного обучения до нейросетевых моделей. Поэтому целесообразно сравнить эти подходы с точки зрения их применения в распределённых IoT-средах, где ключевыми факторами являются ограниченные вычислительные ресурсы, требования к конфиденциальности и устойчивость к атакам, включая отравление данных и модели, а также воздействия на процедуры федеративного обучения. Результаты сопоставления представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение методов применения ИИ для обеспечения информационной безопасности IoT

Метод ИИ	Сильные стороны	Ограничения и риски в IoT
Деревья решений и обучение правилам	Интерпретируемость, высокая скорость.	Зависимость от признаков и снижение качества при изменении трафика и появлении новых атак.
Метод k-ближайших соседей (k-NN – k-Nearest Neighbors)	Простая реализация и выявление отклонений при корректных признаках.	Чувствителен к выбору метрики и параметра k и рост вычислительной нагрузки при увеличении данных.
Метод опорных векторов (SVM – Support Vector Machine)	Высокая точность на подготовленных данных и гибкость за счёт выбора ядра.	Требует разметки и ограниченная переносимость между сегментами.
Ансамблевые методы: случайный лес (Random Forest) и градиентный бустинг	Высокая точность на табличных признаках.	Нуждается в обновлении при дрейфе трафика и часто предполагает централизованное обучение.
Искусственные нейронные сети и глубокое обучение, включая автоэнкодеры	Нелинейное моделирование и подходит для аномалий.	Высокие требования к ресурсам и наличие уязвимости к воздействиям на данные/модель.
Федеративное обучение (Federated Learning)	Снижение риска утечки данных и учёт локальной специфики сегментов.	Риски отравления обновлений и нужен контроль обновлений и защита агрегации.

Анализ таблицы 1 показывает, что при практическом развёртывании в IoT наилучшие условия для масштабирования и соблюдения требований конфиденциальности обеспечивает федеративное обучение. Однако его применение требует ресурсно-эффективной модели и механизмов контроля качества обновлений. В связи с этим предлагается рассмотреть метод интеллектуальной защиты IoT-сети на основе интеграции федеративного

обучения и лёгкой нейронной модели для анализа сетевых метрик на уровне шлюза. Ключевая особенность подхода заключается в том, что обучение модели распределяется между шлюзами IoT-сегментов без передачи исходных данных, а обмену подлежат только обновлённые веса модели. При этом архитектура нейронной сети адаптирована под ограниченные вычислительные ресурсы и включает минимальное количество слоёв.

Для реализации предложенного подхода архитектура системы строится по трёхуровневому. На первом уровне находятся IoT-устройства, формирующие сетевой трафик. Они не выполняют вычислений, связанных с обучением, и передают данные своему шлюзу. Второй уровень образуют периферийные шлюзы. Именно на них осуществляется сбор и предварительная обработка сетевых метаданных. Фиксируются такие показатели, как частота отправки пакетов, средний размер полезной нагрузки, количество установленных соединений, интервалы между пакетами, типы используемых протоколов, например MQTT и CoAP. Важно, что при этом анализируется поведенческий профиль трафика, а не его содержимое, что позволяет сохранить конфиденциальность передаваемой информации. Третий уровень представлен центральным сервером агрегации, который координирует распределённое обучение и объединяет параметры локальных моделей [3]. Но сам трафик через него не проходит, поэтому единой точки отказа не возникает. Распределение операций по различным аппаратным ресурсам в рамках указанной архитектуры представлено на рисунке 1.

Реализация этапов алгоритма на периферийных узлах основана на автоэнкодере и обработке агрегированных сетевых метаданных в скользящих временных окнах. Для каждого окна формируется вектор признаков, заданный в предыдущем разделе, после чего выполняется нормализация по статистикам, рассчитанным на данных сегмента за последние интервалы, например по среднему значению и дисперсии [4]. Тем самым, позволяя снизить влияние различий между сегментами и упростить последующую агрегацию локальных обновлений.

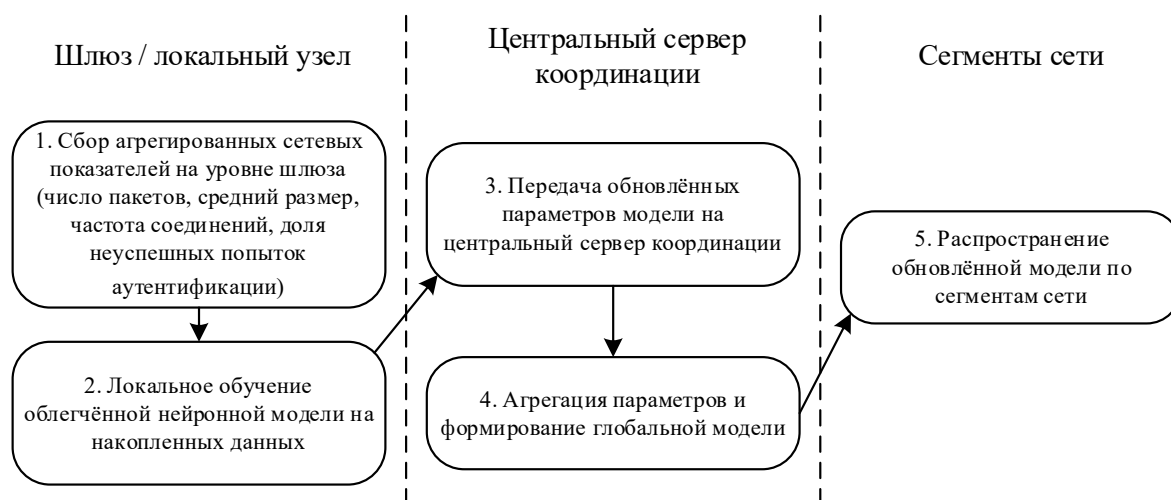


Рис. 1. Распределение операций при выявлении аномалий в IoT-сети

С учётом ограничений вычислительных ресурсов на шлюзах используется компактный полносвязный автоэнкодер с тремя слоями: входным, скрытым с уменьшенной размерностью и выходным, восстанавливающий входные данные. Размер скрытого слоя выбирается существенно меньше размерности признакового вектора, чтобы число параметров оставалось на уровне нескольких тысяч и обучение выполнялось на устройствах с ARM-процессорами без существенного увеличения нагрузки. Локальное обучение проводится короткими сессиями на буфере последних окон: несколько циклов с оптимизатором Adam и ограничением по числу итераций или времени.

Для снижения влияния аномального трафика на адаптацию модели в обучающий буфер преимущественно включаются наблюдения, для которых ошибка реконструкции не превышает текущий порог детектирования. При этом на этапе инференса выявление аномалий осуществляется на основе анализа ошибки реконструкции – для очередного вектора признаков вычисляется среднеквадратичная ошибка между входом и восстановленным выходом автоэнкодера [5]. Здесь важно отметить, что при обработке легитимного трафика среднеквадратичная ошибка остаётся в допустимых пределах. Однако если на вход поступают нетипичные действия активности, например всплеск запросов при DDoS-атаке, то величина ошибки возрастает. Превышение установленного порога интерпретируется как сигнал о возможном инциденте безопасности.

Федеративное обучение организуется циклически. На начальном этапе сервер формирует глобальную модель и передаёт её шлюзам. Затем каждый шлюз выполняет локальное обучение на собственных данных, которые не покидают его пределы. По завершении этапа на сервер отправляются только обновлённые параметры. В свою очередь сервер агрегирует полученные обновления путём усреднения и формирует новую глобальную модель, которая повторно распространяется на шлюзы. Следовательно цикл обучения продолжается. Такая организация позволяет учитывать особенности различных участков инфраструктуры без централизации данных [3].

Для повышения устойчивости к атакам на процесс обучения вводится контроль отклонений обновлений, поступающих от шлюзов. То есть сервер дополнительно контролирует отклонение обновлений и если параметры, присланные отдельным шлюзом, существенно отличаются от обновлений других узлов, то его вклад в агрегацию временно ограничивается. Это снижает риск искажения глобальной модели при компрометации шлюза или связанных с ним IoT-устройств, которые могут формировать аномальный трафик и тем самым влиять на результаты локального обучения.

Представленная архитектура интеллектуальной защиты IoT-инфраструктуры объединяет ресурсоэффективный автоэнкодер и механизм федеративного обучения, что позволяет адаптировать модель к особенностям каждого сегмента сети. При обнаружении аномального значения ошибки реконструкции система формирует сигнал безопасности, который инициирует блокировку подозрительного узла, изоляцию сегмента или уведомление

администратора, обеспечивая раннее выявление распределённых атак без передачи трафика в облачную среду. В свою очередь перенос анализа и локального обучения на уровень шлюзов снижает нагрузку на каналы связи и уменьшает риски, связанные с централизацией обработки трафика. Дополнительный контроль отклонений обновлений повышает устойчивость системы к отравлению модели и компрометации отдельных узлов. Таким образом, предложенный метод может быть применён в инфраструктуре умного дома, промышленного IoT и интеллектуальных транспортных систем, где периферийные шлюзы контролируют сетевой трафик сегмента.

Литература

- [1]. Kuzlu M., Fair C., Guler O. Role of Artificial Intelligence in the Internet of Things (IoT) cybersecurity // Discover Internet of Things. 2021. Vol. 1. Art. 7. 14 p. DOI: 10.1007/s43926-020-00001-4. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s43926-020-00001-4> (дата обращения: 14.02.2026).
- [2] Пучков А. Ю., Соколов А. М., Широков С. С., Прокимнов Н. Н. Алгоритм выявления угроз информационной безопасности в распределённых мультисервисных сетях органов государственного управления // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 2. С. 85–102. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-2-85-102.
- [3]. Новикова Е. С., Котенко И. В., Мелешко А. В., Израилов К. Е. Обнаружение вторжений на основе федеративного обучения: архитектура системы и эксперименты // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 6(58). С. 50–66. DOI: 10.21681/2311-3456-2023-6-50-66. Текст : электронный. URL: <https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2023/12/vokib-2023-6-st04-s050-066.pdf> (дата обращения: 14.02.2026).
- [4]. Tanaka T., Nambu I., Maruyama Y., Wada Y. Sliding-Window Normalization to Improve the Performance of Machine-Learning Models for Real-Time Motion Prediction Using Electromyography // Sensors. 2022. Vol. 22, № 13. Art. 5005. DOI: 10.3390/s22135005. Текст : электронный. URL: <https://doi.org/10.3390/s22135005> (дата обращения: 14.02.2026).
- [5]. Givnan S., Chalmers C., Fergus P., Ortega-Martorell S., Whalley T. Anomaly Detection Using Autoencoder Reconstruction upon Industrial Motors // Sensors (Basel). 2022. Vol. 22, № 9. Art. 3166. DOI: 10.3390/s22093166. Текст : электронный. URL: <https://doi.org/10.3390/s22093166> (дата обращения: 14.02.2026).

АРХИТЕКТУРНЫЕ ОСНОВЫ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ В РОЯХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно применяются в составе распределённых киберфизических систем, функционирующих в условиях отсутствия централизованной инфраструктуры и частых изменений сетевой топологии [1]. Подобные системы преимущественно представлены роевыми архитектурами, предполагающими согласованное функционирование множества БПЛА при решении задач наблюдения, сбора телеметрической информации, маршрутизации и координации посредством децентрализованного информационного взаимодействия. Для взаимодействия с роем, широко используются наземные устройства (НУ), включая станции управления, мобильные терминалы и ретрансляторы. В связи с этим совместная работа БПЛА и НУ формирует гибридную сеть, которая обуславливает необходимость строгой верификации каждого компонента системы.

Ключевой проблемой для подобных сетевых архитектур выступает обеспечение надёжной защиты при минимальных возможностях устройств. Так, вычислительные ресурсы, объём памяти и энергетический запас БПЛА накладывают ограничения на выбор криптографических решений. Наземная инфраструктура, напротив, характеризуется значительно большей производительностью аппаратных средств и непрерывным электропитанием, благодаря чему способна реализовывать алгоритмически сложные защитные механизмы. Вместе с тем централизация функций доверенного центра на наземном узле формирует уязвимость архитектуры, поскольку компрометация либо недоступность такого узла останавливает функционирование всей сети и резко ухудшает её устойчивость к отказам.

В связи с этим актуальной является разработка децентрализованной схемы аутентификации, в которой БПЛА и НУ выступают равноправными узлами, где вычислительно ресурсоемкие процедуры передаются наземным узлам, не нарушая распределённой топологии системы. Отличительной чертой выступает механизм двухэтапной верификации, основанный на распределённом подтверждении подлинности соседствующими элементами сети. Подлинность каждого беспилотного аппарата или НУ устанавливается коллективно смежными узлами, которые формируют единую пороговую подпись, объединяя свои индивидуальные подписи. При этом данная децентрализованная модель устраняет зависимость от единого доверенного центра и демонстрирует идентичную функциональность независимо от характера соединения – будь то взаимодействие БПЛА между собой или их сопряжение с НУ. Инициирование процедуры аутентификации и проверка подлинности прочих участников также доступны любому узлу сети.

Концептуальная основа данного подхода опирается на интеграцию нескольких криптографических механизмов: легковесный протокол EDHOC (Ephemeral Diffie-Hellman Over COSE – протокол на основе эфемерного обмена Диффи-Хеллмана с использованием компактных бинарных форматов) с пороговыми подписями на основе BLS (Boneh-Lynn-Shacham – схема подписи Боне-Линна-Шахама), распределенной генерацией ключа по протоколу Педерсена и физически неклонировуемой функции (PUF) для защиты доступа к доле ключа.

В контексте формирования защищённого взаимодействия архитектура системы опирается на EDHOC – легкий криптографический механизм, адаптированный к функционированию в условиях нехватки вычислительных мощностей БПЛА. Для обоснования его выбора был проведен сравнительный анализ с классическим протоколом TLS (Transport Layer Security). Результаты этого сопоставления систематизированы в таблице 1 [2, 3].

Таблица 1 – Сравнительные характеристики протоколов TLS и EDHOC

Характеристика	Протоколы	
	TLS	EDHOC
Вычислительная нагрузка	Высокая, требует ресурсоёмкой процедуры установления соединения с асимметричной криптографией и обработкой сертификатов (процедура установления соединения занимает 143,33 мс в версии 1.3)	Низкая, реализован для IoT с форматами CBOR/COSE и эфемерным Диффи-Хеллманом на эллиптических кривых (процедура установления соединения 150-250 мс)
Размер сообщений	Значительный, из-за подробных заголовков и расширений (>1 КБ, например 615 байт в версии 1.3)	Минимальный, благодаря компактным форматам (100-200 байт)
Этапы обмена	4-6 шагов	2-3 шага
Поддержка устройств с ограниченными ресурсами	Низкая, т.к. предназначен для мощных устройств (объем памяти до 61 кБ в версии 1.3)	Высокая, т.к. оптимизирован для слабых сетей без потерь данных (объем памяти: 25-30 кБ)
Устойчивость к компрометации	Средняя, так как зависит от режима	Высокая, с прямой секретностью и взаимной аутентификацией
Энергопотребление	Высокое (7.6 мДж в версии 1.3 с предварительным общим ключом и алгоритмом AES-128-CCM)	Низкое, за счёт малых размеров и скорости (4.5-6 мДж в процедуре установления соединения)
Уровень модели OSI	Транспортный	Прикладной

Анализ представленных данных выявляет существенные ресурсные издержки протокола TLS, которые выражаются в высоком потреблении вычислительных мощностей и энергии, увеличенном объёме служебного трафика, а также в повышенных требованиях к объёму используемой памяти.

Очевидно, что применение данного протокола в роевых структурах БПЛА, функционирующих в условиях динамической сетевой топологии, затруднено избыточными ресурсными требованиями. В противовес этому, EDHOC обеспечивает ресурсоэффективное установление защищённого соединения

между участниками, используя компактные форматы CBOR (Concise Binary Object Representation) / COSE (CBOR Object Signing and Encryption) и минимизируя число необходимых обменов сообщениями.

Следовательно, на основе протокола EDHOC строится предложенная децентрализованная схема двухфакторной аутентификации, процесс которой начинается с этапа инициализации. В рамках рассматриваемой архитектуры предполагается сценарий, при котором НУ инициирует процедуру проверки легитимности БПЛА в рое.

Каждое устройство генерирует пару ключей на основе эфемерного обмена Диффи-Хеллмана [4]. Наземное устройство выбирает случайное приватное число $a \in Z_q$ и вычисляет соответствующее публичное значение:

$$A = g^a \bmod p, \quad (1)$$

где: a – случайное приватное число, выбранное из множества Z_q ; p – случайное простое число, определяющее конечное поле Z_p ; g – образующий элемент (генератор) циклической подгруппы порядка q в мультипликативной группе поля Z_p .

БПЛА аналогично выбирает приватное число $b \in Z_q$ и вычисляет публичное значение:

$$B = g^b \bmod p, \quad (2)$$

где b – случайное приватное число, выбранное из множества Z_q .

Публичные значения передаются в пиринговом режиме и используются для вычисления общего секрета:

$$K = A^b \bmod p = B^a \bmod p = g^{ab} \bmod p, \quad (3)$$

где K – общий сеансовый секрет, из которого с помощью функции вывода ключей формируется сеансовый ключ.

Указанный ключ обеспечивает криптографическую защиту последующего обмена сообщениями, выступая при этом начальным аутентификационным элементом, верифицирующим присутствие узлов в активном коммуникационном сеансе. Важно отметить, что криптографическое подтверждение подлинности осуществляется обеими сторонами канала связи – беспилотным летательным аппаратом и наземным устройством – вне зависимости от того, какая сторона инициировала соединение.

Защищённый канал предотвращает перехват, фальсификацию данных и атаки с промежуточным посредником, но не верифицирует принадлежность узла к авторизованному рою.

В связи с этим конфигурирование пороговых величин коллективной верификации происходит по завершении формирования защищённого

соединения. Параметр n отражает совокупную численность сетевых элементов, тогда как k – минимальное число долей, необходимых для формирования корректной коллективной подписи. Данные характеристики задаются распределённым образом, обеспечивая единообразие применения как для БПЛА, так и для НУ.

Реализация данного подхода основана на применении коллективной аутентификации с использованием пороговой схемы подписи BLS, предполагающей децентрализованное формирование мастер-ключа без доверенного центра. Однако BLS использует эллиптические кривые с билинейными спариваниями, где базовые операции выполняются в группе точек кривой, а не в мультипликативных группах модульной арифметики, что обеспечивает компактные подписи и эффективную верификацию.

Мастер-ключ группы формируется с использованием протокола распределённой генерации ключей (DKG), аналогичного схеме Педерсена [5]. Каждый узел N_i (где i – номер узла от 1 до n) выбирает случайный полином степени $k - 1$:

$$f_i(x) = a_{i,0} + a_{i,1}x + a_{i,2}x^2 + \dots + a_{i,(k-1)}x^{k-1}, \quad (4)$$

где: $a_{i,j}$ – случайно выбранные коэффициенты полинома узла N_i , $a_{ij} \in Z_q$; $a_{i,0}$ – свободный член, представляющий вклад узла N_i в общий мастер-ключ; k – пороговое значение количества долей для восстановления подписи.

Узлы обмениваются значениями $f_i(j)$ по защищённым каналам EDHOC, после чего каждый участник формирует свою долю мастер-ключа:

$$s_j = \sum_{i=1}^n f_i(j), \quad (5)$$

где: $f_i(j)$ – значение полинома от узла N_i в точке j ; n – общее количество узлов в сети.

Полный мастер-ключ равен сумме свободных членов всех полиномов:

$$s = \sum_{i=1}^n a_{i,0}, \quad (6)$$

где $a_{i,0}$ – свободный член, представляющий вклад узла N_i в общий мастер-ключ.

При этом важно, что он не восстанавливается в явном виде, что исключает его компрометацию даже при захвате части узлов. Стоит отметить, что групповой публичный ключ P , известный всем участникам, вычисляется как:

$$P = s \cdot G, \quad (7)$$

где:

s – полный мастер-ключ; G – заранее определённая генераторная точка

эллиптической кривой, используемая в схеме BLS.

Доли мастер-ключа сохраняются посредством физически неклонируемых функций. В архитектуре беспилотных летательных аппаратов задействуются SRAM PUF (Static Random-Access Memory Physical Unclonable Function - физически неклонируемая функция на основе статической оперативной памяти), базирующиеся на инициализационных состояниях ОЗУ микроконтроллера, или специализированные защищённые элементы с интегрированными PUF, такие как криптографические микросхемы, монтирующиеся на плату БПЛА. На НУ используются PUF, реализованные в доверенном платформенном модуле TPM (Trusted Platform Module). В обоих случаях доля ключа не хранится в энергонезависимой памяти, а восстанавливается только на время выполнения криптографической операции.

Конфигурация системы, включая начальное распределение долей, выполняется на этапе предварительной настройки на земле - путем загрузки прошивки в контроллеры БПЛА и НУ. В процессе же полёта, в условиях постоянного изменения состава роя, доли ключей перераспределяются между текущими соседними узлами через защищённые каналы. Такой подход позволяет поддерживать работоспособность группы с так называемым гибким составом, предотвращая отрыв отдельных узлов от роя и защитить от нарушений в построении маршрутов передачи данных.

В результате сформулирована архитектурная и криптографическая основа децентрализованной схемы двухфакторной аутентификации в роях БПЛА и НУ. Применение EDHOC позволяет организовать установление защищённого соединения в условиях ограниченных вычислительных и энергетических ресурсов, а распределённая генерация мастер-ключа, пороговые параметры и использование PUF создают устойчивую базу для безопасного управления ключевым материалом без опоры на единый доверенный центр.

Литература

- [1]. Sarkar S., Shafaei S., Jones T. S., Totaro M. W. Secure Communication in Drone Networks: A Comprehensive Survey of Lightweight Encryption and Key Management Techniques // Drones. 2025. Vol. 9, No. 8. Art. 583. Текст : электронный. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/8/583> (дата обращения: 19.10.2025).
- [2]. Fedrechski G., Vučinić M., Watteyne T. Performance Comparison of EDHOC and DTLS 1.3 in Internet-of-Things Environments // IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2024. Текст : электронный. URL: <https://hal.science/hal-04382397v1/document> (дата обращения: 19.10.2025).
- [3]. Rescorla E. The Transport Layer Security (TLS) Protocol Version 1.3 // Request for Comments: 8446 / Internet Engineering Task Force (IETF). 2018. Текст : электронный. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8446> (дата обращения: 19.10.2025).
- [4]. Diffie W., Hellman M. E. New Directions in Cryptography // IEEE Transactions on Information Theory. 1976. Vol. IT-22, No. 6. P. 644–654. Текст : электронный. URL: <https://ee.stanford.edu/~hellman/publications/24.pdf> (дата обращения: 26.12.2025).
- [5]. Pedersen T. P. A Threshold Cryptosystem without a Trusted Party // Advances in Cryptology – EUROCRYPT '91. Lecture Notes in Computer Science. 1991. Vol. 547. P. 522–526. Текст : электронный. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-46416-6_47 (дата обращения: 26.12.2025).

МЕХАНИЗМ КОЛЛЕКТИВНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ УЗЛОВ И ОБНОВЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫХ УСТРОЙСТВ

В настоящее время развитие роевых систем беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и наземных устройств (НУ) обуславливает необходимость решения не только задачи организации защищённого канала связи, но и задачи подтверждения принадлежности каждого участника к доверенной группе, допущенной к совместной обработке данных, маршрутизации и координации действий [1]. Актуальность данной проблемы определяется высокой динамичностью состава роя, отсутствием постоянного центра управления, а также требованием сохранения устойчивости сети при частичной утрате отдельных узлов.

Дополнительную сложность при построении механизмов доверия в рое БПЛА и НУ создаёт то, что участники такой сети функционируют в условиях ограниченных вычислительных, энергетических и коммуникационных ресурсов. Для подобных систем характерны короткие сеансы взаимодействия, изменение состава соседних узлов и необходимость принимать решение о допуске участника без обращения к постоянно доступному центру доверия. В этих условиях традиционные схемы и процедуры отзыва ключей могут сопровождаться избыточными накладными расходами на хранение служебной информации, синхронизацию состояний и повторное распределение полномочий при изменении топологии сети. Поэтому для роевых систем особенно востребованы компактные протоколы установления защищённого канала и распределённые механизмы подтверждения легитимности, позволяющие сохранять корректность аутентификации даже при частичной потере отдельных узлов.

В связи с этим в децентрализованной схеме двухфакторной аутентификации для БПЛА и НУ защита обмена сообщениями обеспечивается протоколом EDHOC (Ephemeral Diffie-Hellman Over COSE - протокол на основе эфемерного обмена Диффи–Хеллмана с использованием компактных бинарных форматов), предназначенным для противодействия перехвату и подделке данных. Однако установление защищённого канала само по себе не решает задачу групповой идентификации, поскольку не позволяет определить, относится ли подключившийся узел к числу авторизованных участников роя. Поэтому после установления защищённого взаимодействия вводится дополнительный этап аутентификации, основанный на коллективном подтверждении легитимности узла со стороны соседних элементов сети. Наличие такого этапа позволяет подтвердить принадлежность участника к доверенной группе и создать основу для формирования частичных подписей, их агрегирования и последующей проверки с использованием группового открытого ключа.

Следовательно, после установления защищённого соединения формируется набор криптографических параметров, обеспечивающих последующую коллективную верификацию узла. К их числу относятся групповой открытый ключ P , индивидуальные доли мастер-ключа участников, а также параметры запроса аутентификации, используемые при двусторонней проверке подлинности. Их функциональная роль и значение в рассматриваемой схеме представлены в таблице 1 [2, 3].

Указанные параметры используются при формировании и обработке сообщений, которыми обмениваются участники сети в ходе проверки подлинности. Их согласованное применение обеспечивает переход от предварительной инициализации к коллективному подтверждению легитимности узла.

Таблица 1 – Основные параметры процедуры коллективной верификации

Параметр	Роль в коллективной верификации	Значение для верификации
Идентификатор узла назначения	Связывает запрос с конкретным адресатом.	Обеспечивает корректную адресацию проверки выбранному узлу.
Временная метка	Фиксирует момент формирования запроса.	Позволяет оценить актуальность сообщения.
Случайное значение	Придаёт запросу уникальность.	Исключает повторное использование ранее сформированных данных.
Индивидуальные доли мастер-ключа	Используются для формирования частичных подписей.	Обеспечивают распределённый характер подтверждения.
Пороговое значение k	Определяет минимальное число частичных подписей.	Задаёт достаточность подтверждений для принятия решения.
Агрегированная пороговая подпись	Объединяет частичные подписи в единый результат.	Обеспечивает коллективное подтверждение легитимности узла.
Групповой открытый ключ P	Используется для проверки агрегированной подписи.	Обеспечивает итоговую верификацию узла.

Так, в результате успешной инициализации запускается двусторонняя проверка подлинности участников. Инициатор генерирует специальный запрос, включающий криптографический идентификатор назначения, временную метку и случайное значение. Идентификатор формируется путём хеширования публичного ключа либо актуального эфемерного параметра, обеспечивая целевому БПЛА возможность безошибочной идентификации адресата запроса. При получении такого запроса БПЛА генерирует ответное сообщение, содержащее вычисленное хеш-значение, временную метку и собственный публичный параметр, после чего передает его соседним узлам сети.

Каждый соседний узел проверяет корректность и актуальность метки времени, после чего формирует долю подписи [4]:

$$\sigma_i = s_i \cdot H(m), \quad (1)$$

где: m – проверяемое сообщение; s_i – доля мастер-ключа узла; $H(m)$ – криптографическая хэш-функция, отображающая сообщение m в точку на эллиптической кривой.

После получения не менее k долей они агрегируются в коллективную подпись [5]:

$$\sigma = \sum_{i \in I} \sigma_i, \quad (2)$$

где I – множество узлов, предоставивших доли.

Сформированная подпись передается НУ через канал, защищённый протоколом EDHOC, где осуществляется её верификация посредством публичного группового ключа P . В схеме BLS (Boneh-Lynn-Shacham – схема подписи Боне-Линна-Шахама) верификация выполняется с помощью билинейного спаривания e [4]:

$$e(\sigma, G) = e(H(m), P), \quad (3)$$

где G – заранее определённая генераторная точка эллиптической кривой, используемая в схеме BLS.

Положительный результат криптографической проверки свидетельствует о легитимности БПЛА минимум k членами распределённой системы, то есть других узлов сети, в которую входят как беспилотные летательные аппараты, так и наземные устройства.

Иницирующий узел получает сформированную подпись и осуществляет её верификацию посредством публичного группового ключа. Положительный результат верификации свидетельствует о легитимности узла, что означает завершение процедуры аутентификации.

Для поддержания долговременной безопасности реализован механизм автоматического обновления и перераспределения ключей. Процедура запускается ежедневно по истечении заданного интервала времени, синхронизированного между узлами, или при изменении состава роя. Инициатором обновления может выступать любой узел. Основная часть координации – включая сбор служебных сообщений и согласование этапов протокола – обычно переносится на наземные узлы, поскольку именно они, как правило, обладают большей вычислительной мощностью и лучше подходят для обработки такой нагрузки. Обновление долей выполняется без смены мастер-ключа: каждый участник выбирает новое приватное значение, затем через хэш предыдущего идентификатора с добавлением временной метки формирует его новую версию и передаёт уведомление по EDHOC. Если появляются признаки компрометации, система переходит к полному циклу повторной распределённой генерации ключей.

Предлагаемый механизм коллективной верификации строится не на решении одного элемента сети, а на согласованном криптографическом подтверждении со стороны части распределённой группы. Комбинация пороговой подписи BLS и защищённого обмена через EDHOC позволяет поддерживать необходимый уровень доверия к процедуре аутентификации, уменьшать зависимость от централизованной инфраструктуры и сохранять работоспособность даже при изменении состава роя. Однако дополнительную устойчивость обеспечивает регулярное обновление и перераспределение ключей: за счёт этого снижается риск, связанный с компрометацией отдельных устройств и повторным использованием устаревших параметров.

В результате такой механизм можно рассматривать как практическую основу децентрализованной двухфакторной аутентификации для роев БПЛА и наземных устройств – прежде всего в тех условиях, где особенно важны автономность, отказоустойчивость и экономное использование ресурсов, а зависимость от внешней доверенной среды должна оставаться минимальной.

Литература

- [1]. Sarkar S., Shafaei S., Jones T. S., Totaro M. W. Secure Communication in Drone Networks: A Comprehensive Survey of Lightweight Encryption and Key Management Techniques // Drones. 2025. Vol. 9, No. 8. Art. 583. Текст : электронный. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/8/583> (дата обращения: 19.10.2025).
- [2]. Басан А. С., Басан Е. С., Ищукова Е. А., Корнилов А. П. Протокол взаимной аутентификации группы объектов с динамической топологией // Вопросы кибербезопасности. 2023. № 4(56). С. 41–52. Текст : электронный. URL: https://cyberrus.info/wp-content/uploads/2023/09/41-52-456-23_5.-Basan.pdf (дата обращения: 26.12.2025).
- [3]. Кустов Е. Ф., Беззатеев С. В. Пороговая схема подписи на основе теории решёток и интерполяции Ньютона // Доклады ТУСУР. 2025. Т. 28, № 2. С. 166–171. Текст : электронный. URL: <https://journal.tusur.ru/storage/182907/19-%D0%9A%D1%83%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%B2.pdf> (дата обращения: 26.12.2025).
- [4]. Boneh D., Lynn B., Shacham H. Short Signatures from the Weil Pairing // Advances in Cryptology – ASIACRYPT 2001. Lecture Notes in Computer Science. 2001. Vol. 2248. P. 514–532. Текст : электронный. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-45682-1_30 (дата обращения: 26.12.2025).
- [5]. Pedersen T. P. A Threshold Cryptosystem without a Trusted Party // Advances in Cryptology – EUROCRYPT '91. Lecture Notes in Computer Science. 1991. Vol. 547. P. 522–526. Текст : электронный. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-46416-6_47 (дата обращения: 26.12.2025).

ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА СХЕМЫ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ КОНВЕКТИВНОГО ЧЛЕНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ³

Процесс перемешивания остается одним из наиболее распространенных процессов в большинстве отраслей промышленности. Прогнозирование качества сухих смесей на химических и металлургических производствах является ключевой задачей по причине того, что отклонение от заданных параметров в начале производственного цикла обязательно повлечут последствия в дальнейшем. Например, неоднородное распределение рудного минерального сырья, восстановителя и плавения (песок, кварцит), необходимого для увеличения плавкости имеющихся примесей и образования шлака, в объеме производимой шихты приведет к увеличению времени спекания и дополнительным энергозатратам в химико-энерготехнологических процессах агломерации или высокотемпературного обжига окатышей [1]. Одним из методов прогнозирования качества шихты (смеси рудного минерального сырья, восстановителя и плавения) может быть имитационное моделирование.

На основании анализа современных публикаций можно сделать вывод, что потребность в имитационном моделировании возрастает с усложнением исследуемых процессов смешения, описываемых дифференциальным уравнением переноса в частных производных, в нашем случае в цилиндрических координатах, и позволяет убедиться, что выбранная схема аппроксимации дифференциального уравнения удовлетворяет заданной точности решения.

В зависимости от природы, порождающей движение среды, различают конвекцию и диффузионное движение среды. Причем конвективный характер движения может быть как естественным, так и вынужденным (насосы, мешалки и т.п.). В турбулентном или пневматическом смесителе перемешивание вещества носит стохастический характер и зависит от конвективного и диффузионного переноса вещества и его взаимодействия с пространством смесителя (лопасти, направляющие, стенки). Сам смеситель представляет цилиндрическую камеру с загрузочным устройством сырья (исток) и устройством выгрузки (сток). Процесс смешивания можно описать уравнением переноса в цилиндрических координатах которое включает в себя диффузионные и конвективные члены.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - v_z \frac{\partial c}{\partial z} + \frac{D_r}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right), \quad (1)$$

³ Работа выполнена в рамках государственного задания, проект FSWF-2026-0010.

где $\frac{\partial c}{\partial z}$ – конвективный член уравнения, $\frac{\partial^2 c}{\partial z^2}$ – диффузионный член уравнения, $\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial c}{\partial r} \right)$ – радиальный диффузионный член, c – концентрация вещества в смеси, $\bar{v}_z$ – среднее значение скорости продольного движения материала м/с, D_z и D_r – коэффициенты осевого и радиального перемешивания м/с.

Наиболее распространённым методом решения таких задач является метод конечных разностей или метод сеток. Для формирования разностной схемы необходимо выполнить два условия: во-первых, необходимо вместо области непрерывного изменения аргумента использовать область его дискретного изменения – сетку, во-вторых, выполнить замену дифференциального оператора на разностный аналог.

Граничные условия: при $r = R$, $\frac{\partial c}{\partial r} = 0$, а при $r = 0$, в силу особенностей цилиндрических координат, возникает неопределенность $0/0$ на оси симметрии для радиального диффузионного члена. Для разрешения этой неопределённости применяем правила Лопиталя для исследования радиального члена уравнения (1) на оси симметрии смесителя.

$$\lim_{r \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial c}{\partial r}}{r} = \lim_{r \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial}{\partial r} \frac{\partial c}{\partial r}}{\frac{\partial}{\partial r} r} = \frac{\frac{\partial^2 c}{\partial r^2}}{1} = \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}$$

Физический и численный результат таков, что после раскрытия неопределенности исходное уравнение в точке $r = 0$ преобразуется, и таким образом уравнение для центральной оси примет вид

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} - \bar{v}_z \frac{\partial c}{\partial z} + 2D_r \frac{\partial^2 c}{\partial r^2}$$

Начальные условия: при $t = 0$, в начальный момент времени концентрация $c(t, r) = c(0, r) = c(r)$, а в момент времени $t = t_{\text{конечное}}$ распределение вещества в смеси будет однородным во всех точках $\frac{\partial c}{\partial t} = 0$. Таким образом граничные условия для $z = 0$ первое условие Дирихле $c(t, 0, r) = c_{\text{входная}}(t)$, а для $z = L$ получается, что за выходом смесителя концентрация перестаёт изменяться $\frac{\partial c}{\partial z} = 0$.

Для заданного дифференциального уравнения (1) выберем равномерную сетку с областью решения $r \in [0, R]$, $z \in [0, L]$. Введем узлы по радиусу $r_0 = 0 < r_1 < \dots < r_N = R$ и по оси $z_0 = 0 < z_1 < \dots < z_N = L$.

Рассмотрим аппроксимацию производной для конвективного члена уравнения, на примере схемы правой разности. Для этого выполняем разложение функции в ряд Тейлора с учетом выбора направления конвективного потока. Аппроксимация пространственной производной методом правой разности будет получаться путем разложения $c(z_{i,j+1})$ в окрестности $z_{i,j}$ (Рис. 1).

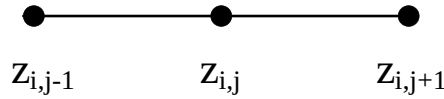


Рис. 1. Разностная схема.

$$c(z_j + \Delta z) = c(\Delta z) + \Delta z \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z_j} + \frac{(\Delta z)^2}{2} \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} + O((\Delta z)^3)$$

где $O(\Delta z)$ – погрешность аппроксимации.

Выражаем производную:

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z_j} = \frac{c(z_j + \Delta z) - c(\Delta z_j)}{\Delta z} - \frac{\Delta z}{2} \left. \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right|_{z_j} + O((\Delta z)^2)$$

Таким образом правая разность имеет первый порядок точности, поскольку при разложении в ряд Тейлора главный член погрешности аппроксимации пропорционален первой степени шага сетки Δz .

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{i,j} \approx \frac{c_{i,j+1} - c_{i,j}}{\Delta z}$$

Аналогичным путем получаем левую разность:

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{i,j} \approx \frac{c_{i,j} - c_{i,j-1}}{\Delta z}$$

И центральную разность:

$$\left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{i,j} \approx \frac{c_{i,j+1} - c_{i,j-1}}{2\Delta z}$$

Выбор подходящей разностной схемы очень важен при решении оптимизационных задач, когда требуется получить ответ при различных значениях входных параметров. Оценку выбора подходящей схемы решения будем осуществлять при помощи критерия Куранта-Фридрихса-Леви (CFL), которое задает необходимое условие устойчивости явных разностных схем для гиперболических уравнений, так как он показывает временную и пространственную дискретизацию области, в которой осуществляется поиск решения:

$$CFL = \frac{|v| \Delta t}{\Delta z} \leq 1$$

где Δt – шаг по времени, Δz – шаг по оси z , v – максимальное значение скорости в расчетной области. Для явных схем это ключевой параметр, связывающий временную и пространственную дискретизацию. Влияние CFL на точность и устойчивость существенно различается для разных аппроксимаций конвективного члена [2].

Порядок точности показывает, насколько быстро уменьшается погрешность при уменьшении шага сетки. Для левой разности в уравнении переноса ошибка кроется во второй производной, отвечающей за диффузию. Поэтому схемы первого порядка склонны к небольшому размытию резких границ, даже если диффузия принимает значения равные нулю. Центральная-разностная схема,

имеющая второй порядок аппроксимации, демонстрирует иное поведение. При малых CFL ($\leq 0,3$) она обеспечивает более высокую точность чем противопоточные схемы благодаря меньшей численной диффузии. Однако с ростом числа в решении начинают появляться дисперсионные ошибки, проявляющиеся в виде нестандартных осцилляций. При значении CFL близким к 1 амплитуда ошибки неограниченно возрастает, что свидетельствует о нарушении условия устойчивости для явных центрально-разностных аппроксимаций параболических уравнений.

На рис. 2 демонстрируется как выбор схемы аппроксимации при разных значениях CFL влияет на устойчивость решения с увеличением шага по времени расчета. Интерпретация результатов демонстрирует, что решение с использованием разностной схемы против потока (upwind) остаётся устойчивым на всём интервале моделирования. Для устойчивости необходимо использовать разность против потока: если $v > 0$ – левую, $v < 0$ – правую. Центральная разность на достаточно малой сетке и малом CFL может сохранять устойчивость, но на больших градиентах начинают проявляться осцилляции. Для мелкодисперсных сыпучих сред это критически важный показатель, так как в процессе перемешивания возникают застойные зоны и есть риск агломерации (слипания) комков. Использование схемы по потоку приводит к экспоненциальному нарастанию ошибки уже на начальных этапах расчета. Это объясняется тем, что такая схема использует информацию против направления течения, нарушая тем самым фундаментальный принцип причинности.

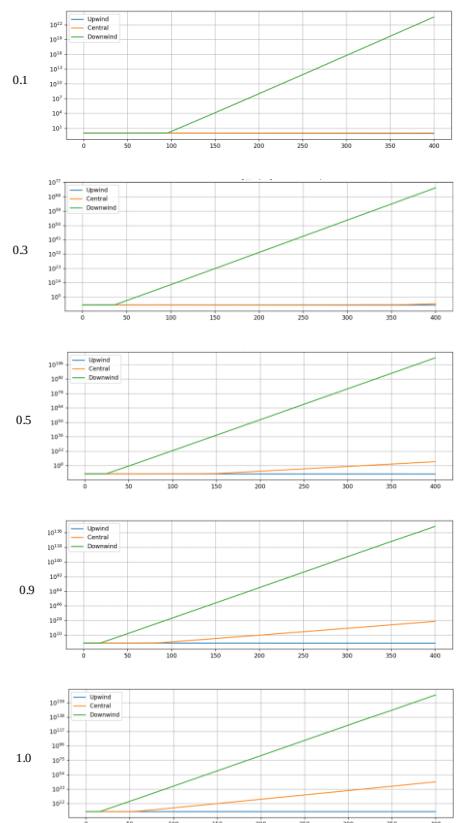


Рис. 2. Зависимость амплитуды ошибки от времени смешивания для различных значений CFL

Полученные результаты подтверждают, что выбор оптимального CFL и аппроксимации являются компромиссом между точностью и вычислительными затратами. Для моделируемых процессов, содержащих узлы с застойными зонами, в цилиндрических координатах надежнее использовать противопоточные схемы с $CFL \leq 1$, что может снизить точность результатов, но поможет избежать осцилляций с гарантированной устойчивостью решения.

Литература

- [1]. Исследование процесса смешивания сыпучих материалов в аппаратах с дополнительными рабочими элементами / П. М. Смирнов, С. Н. Черпицкий, М. Ю. Таршис [и др.] // Математические методы в технологиях и технике. – 2023. – № 6. – С. 36-39. – DOI 10.52348/2712-8873_MMTT_2023_6_36.
- [2]. An energy-based discontinuous Galerkin method with tame CFL numbers for the wave equation / D. Appelö, Lu. Zhang, T. Hagstrom, F. Li // BIT Numerical Mathematics. – 2023. – Vol. 63, No. 1. – P. 5. – DOI 10.1007/s10543-023-00954-2.

*М.Ю. Воротилова, асп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Понятие киберфизических систем (КФС) описывает класс технических систем, связывающих вычислительные процессы с физическими объектами и взаимодействующие в реальном времени. Практически все подобные системы функционируют не изолированно – в их работу вовлечены операторы, пользователи и пр. [1] Когда человеческий фактор становится полноценным компонентом системы, возникает новый тип – социокиберфизические системы (СКФС), объединяющих в единый контур взаимодействия физическую среду, вычислительную инфраструктуру и социальную составляющую. Одним из первых исследователей, обосновавших необходимость включения социальной составляющей в архитектуру КФС, стал Н. Zhuge [2]. Примеры СКФС разнообразны и включают: «умный» дом, производственные сети, интеллектуальные транспортные системы. Примеры таких систем встречаются повсюду, включая «умный» дом, производственные сети, интеллектуальные транспортные системы, системы управления электроснабжением и пр.

Вопросы управления СКФС, в том числе проблемы обеспечения проактивного реагирования на изменения внешней среды, были рассмотрены Б.В. Соколовым, А.П. Ковалевым, Н.Г. Мустафиным и др. [3]. Управление такими системами принципиально отличается от управления обычными техническими системами. Можно выделить несколько особенностей, которые усложняют эту задачу [4]:

- наличие человека в контуре управления (поведение социальных составляющих нелинейно, плохо формализуется и зависит от многих факторов,

оператор может принимать решения, противоречащие логике системы, что делает его поведение трудно прогнозируемым с помощью математических моделей);

- многомодальность взаимодействия (элементы СКФС обмениваются данными по разным каналам и в разных форматах, включая цифровые сигналы датчиков, голосовые команды, действия оператора на панели управления, текстовые сообщения между участниками);

- неполнота информации (данные, поступающие из разных компонентов системы, могут быть противоречивыми, запаздывающими или содержать ошибки, часть информации может вовсе отсутствовать. В связи с этим управляющие решения приходится принимать в условиях, когда полная и картина состояния системы недоступна);

- масштабность (число возможных состояний системы и переходов между ними растет экспоненциально с увеличением числа элементов. Для СКФС, включающих десятки и сотни различных компонентов, пространство возможных состояний является огромным, что делает полный перебор вариантов вычислительно неосуществимым);

- динамичность среды (внешние условия функционирования СКФС меняются непредсказуемо: появляются новые участники, выходят из строя физические компоненты, меняется нагрузка, возникают нештатные ситуации.).

Указанные особенности формируют потребность в разработке эффективных методов управления, которые способны работать в условиях неопределенности, масштабности и постоянных изменений. Существующие подходы к управлению СКФС можно разделить на несколько групп (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация методов управления СКФС

	Метод	Суть метода	Ограничения
Классические методы	Оптимальное управление	Математическое описание объекта управления, синтез регулятора на основе модели	Требуют точной математической модели, не справляются с неопределенностью и социальным фактором
	ПИД-регуляторы	Формирование управляющего воздействия на основе ошибки, ее интеграла и производной	
	Адаптивное управление	Автоматическая подстройка параметров регулятора при изменении характеристик объекта	Структурные изменения и социальный фактор не учитываются
Ситуационное управление	Ситуационные модели	Анализ текущей ситуации и выбор управляющих воздействий, соответствующих ситуации	Экспоненциальный рост числа узлов и связей при масштабных системах, высокая вычислительная сложность
	Продукционные системы правил	Набор правил вида «ситуация – действие», срабатывающих при совпадении условий	Сложность формирования полного набора правил, конфликты между правилами при большом их числе

Продолжение таблицы 1 – Классификация методов управления СКФС

Прецедентный подход	CBR	Формирование решений на основе ранее накопленного опыта	Качество решений зависит от полноты базы прецедентов, слабая адаптация к новым ситуациям

Классические методы теории управления хорошо применимы для технических объектов, поведение которых описывается дифференциальными уравнениями. Однако для СКФС, где присутствует социальная составляющая с непредсказуемым поведением, построить адекватную математическую модель крайне затруднительно. Кроме того, эти методы предполагают, что информация о состоянии объекта поступает полно и точно, что для СКФС не выполняется.

Ситуационное управление, основы которого были заложены Д.А. Поспеловым в 1980-х годах, предлагает иной подход: вместо построения математической модели объекта анализируется текущая ситуация и подбирается управляющее воздействие, ей соответствующее. Этот подход хорошо подходит для слабоформализованных задач, но при большом числе возможных состояний системы перебор ситуаций становится неосуществимым. Развитие идей ситуационного управления привело к созданию нечетких ситуационных сетей – графовых структур, в которых узлы соответствуют ситуациям, а дуги – переходам с нечеткими оценками. Нечеткая логика здесь позволяет работать с неточной и неполной информацией. Тем не менее, для СКФС с большим числом элементов количество узлов и связей в такой сети растет экспоненциально, что порождает трудности поиска решения в таком графе.

Прецедентный подход предполагает, что новые решения формируются на основе ранее встречавшихся ситуаций и принятых в них решений. Канонический цикл *CBR* (*Case-Based Reasoning*) включает поиск наиболее похожего прецедента, его адаптацию к текущей ситуации, применение решения и сохранение нового опыта [5]. Для СКФС такой подход позволяет строить ситуационную сеть постепенно, по мере накопления опыта. Однако качество управления напрямую зависит от полноты и релевантности базы прецедентов, а в принципиально новых ситуациях метод оказывается бессильным.

Таким образом, ни один из рассмотренных подходов в отдельности не способен в полной мере решить задачу управления СКФС. Классические методы не подходят для работы с неопределенностью и социальным фактором. Ситуационное управление и нечеткие ситуационные сети при увеличении числа элементов системы порождают задачи такой размерности, что их решение полным перебором становится невозможным. Прецедентный подход ограничивается имеющимся опытом и не справляется с принципиально новыми ситуациями. Это указывает на необходимость разработки нового метода, объединяющего преимущества существующих методов нечеткие ситуационные сети. Перспективным направлением дальнейших исследований является

объединение нечетких ситуационных сетей, учитывающих текущую ситуацию объекта; прецедентного подхода, позволяющего строить данные сети на основе имеющейся информации, и стохастических методов оптимизации, способных находить приемлемые решения в больших пространствах поиска за разумное время, не прибегая к полному перебору.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта государственного задания № FSWF-2026–0010

Литература

- [1]. Белоусов В.Е., Морозов В.П., Путинцева Е.В., Сырин А.И. Определение и свойства социкиберфизических систем // Проектное управление в строительстве. 2020. №4(21). С. 90-94.
- [2]. Zhuge H. Semantic linking through spaces for cyber-physical-socio intelligence: A methodology // Artificial Intelligence. 2011. vol. 175. Pp. 988-1019.
- [3]. Соколов Б.В., Ковалев А.П., Мустафин Н.Г. и др. Методологические основы проактивного управления социкиберфизическими системами // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2021. Т. 64, №12. С. 1018-1021.
- [4]. Дли М.И., Соколов А.М., Воротилова М.Ю. Построение локальных нечетких моделей для ситуационного управления сложными объектами на основе прецедентов // Программные продукты и системы. 2025. № 3. С. 389-402.
- [5]. Дли М.И., Черновалова М.В., Соколов А.М. Построение нечетких ситуационно-прецедентных моделей региональных экономических систем с использованием онтологий // Прикладная информатика. 2025. Т. 20, № 2(116). С. 112-125.

*С.А. Галиновская, студ.; рук. Н.П. Прокуденков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ: КЛАССИФИКАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В последние десятилетия наблюдается активное проникновение методов искусственного интеллекта в различные области науки и техники. Особый интерес среди исследователей вызывают искусственные нейронные сети, которые находят применение в задачах управления сложными техническими объектами [1]. Как показывает анализ литературных источников, классические подходы к управлению не всегда справляются с нелинейностями и неопределенностями, присущими реальным объектам [2]. Данная работа посвящена классификации и сравнению основных методов нейросетевого управления.

Анализ литературы позволил выделить несколько типовых подходов к построению нейросетевых систем управления, которые различаются тем, как нейросеть включается в контур управления и какие задачи она при этом решает [3]. К числу таких подходов можно отнести подражающее, гибридное, многомодульное, инверсное и вспомогательное управления.

В основе подражающего управления, схема которого представлена на рис. 1, лежит обучение нейросети действовать так, как действует существующий регулятор или человек-оператор. Для этого собирают данные: записывают, какие сигналы поступают на вход регулятора и какие управляющие воздействия он выдает [1]. Обычно в таких случаях используют многослойный перцептрон с

одним-двумя скрытыми слоями. В процессе обучения сеть настраивают так, чтобы ее выходные сигналы были максимально близки к действиям эталонного регулятора. После обучения нейросеть может работать самостоятельно. Для теплотехники такой метод актуален, чтобы повторить действия оператора котельной в типовых ситуациях, но при резких изменениях режимов он не будет эффективен.

Гибридное управление представляет собой подход, в котором нейросеть и классический регулятор работают совместно, объединяя их сильные стороны. Классический регулятор гарантирует устойчивость и предсказуемость системы в номинальных режимах, а нейросеть вносит адаптивность, позволяя компенсировать нелинейности, неучтённые возмущения и изменения параметров объекта. Такое сочетание актуально при модернизации существующих систем автоматики, где полная замена оборудования экономически нецелесообразна.

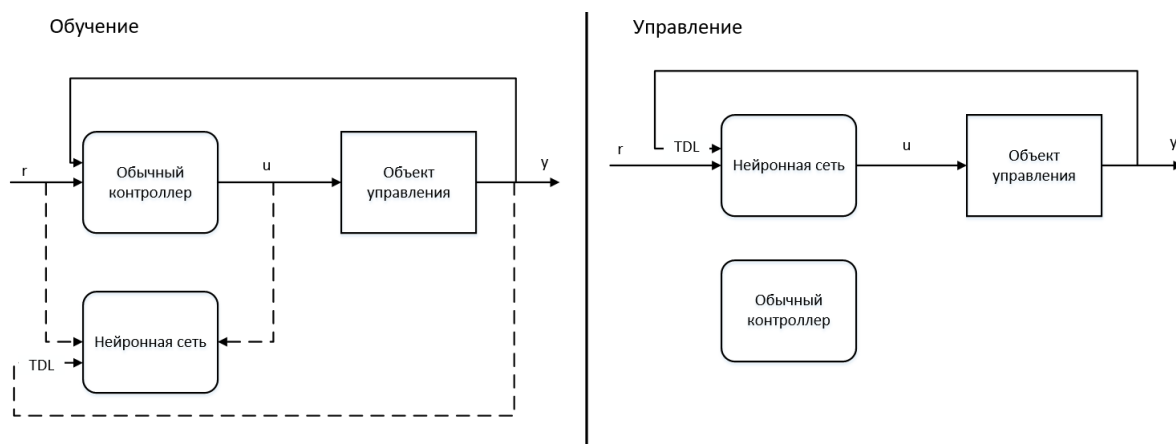


Рис. 1. Функциональная схема подражающего управления

На рис. 2 представлена параллельная структура гибридного нейро-ПИД регулятора – одна из наиболее распространённых реализаций этого подхода [3]. В этой схеме нейросеть включена параллельно классическому ПИД-регулятору и не заменяет его, а дополняет. На вход нейросети подаются три сигнала: текущая ошибка регулирования $e(t)$, её интеграл и производная. Эти сигналы несут информацию о настоящем, прошлом и будущем поведении ошибки. Нейросеть анализирует их и формирует корректирующее воздействие, которое затем суммируется с выходным сигналом ПИД-регулятора. Полученное суммарное управление подаётся на объект.

Такая архитектура позволяет поддерживать устойчивость и отрабатывать типовые режимы, а нейросеть берёт на себя задачу компенсации сложных нелинейных эффектов, медленно меняющихся параметров и внешних возмущений, которые трудно учесть в классическом регуляторе.

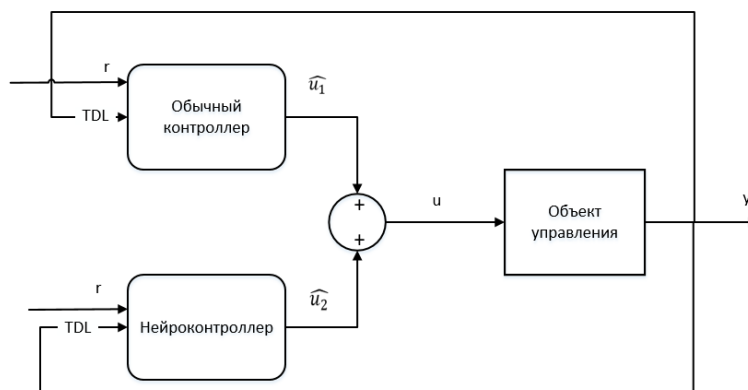


Рис. 2. Функциональная схема гибридного нейро-ПИД управления (параллельная структура)

В теплотехнике параллельный нейро-ПИД подход особенно эффективен при модернизации. Нейросеть, получая информацию об ошибке и её производных, может динамически корректировать управление, поддерживая комфортную температуру в помещении при минимальных энергозатратах. Аналогично, износ оборудования компенсируется адаптивной коррекцией, что продлевает срок службы и снижает эксплуатационные расходы. Такой подход позволяет улучшить качество регулирования без полной замены аппаратной части [3].

Многомодульное управление относится к классу методов, в которых для управления объектом используется не одна нейросеть, а целый набор нейросетевых модулей, каждый из которых специализируется на определённом режиме работы объекта [4]. Необходимость такого подхода обусловлена тем, что многие теплотехнические объекты функционируют в существенно различающихся режимах: пуск и останов, номинальная нагрузка, переходные процессы, сезонные изменения. Единый регулятор, настроенный на какой-то один режим, в других может работать неудовлетворительно. В рассматриваемой схеме, представленной на рис. 3, каждый модуль представляет собой пару из прямой и инверсной нейросетевых моделей. Прямая модель прогнозирует поведение объекта, а инверсная – вычисляет необходимое управляющее воздействие. Модули обучаются на данных, соответствующих конкретному, заранее выделенному режиму работы. Принцип функционирования системы состоит из двух этапов. На первом этапе супервизор на основе текущих значений технологических параметров выполняет переоценку коэффициентов ответственности (весов) каждого модуля. Эти коэффициенты отражают степень соответствия текущей ситуации тому или иному режиму. На втором этапе реализуется коллективное управление: выходные сигналы всех инверсных моделей суммируются с учётом полученных весов, и общее управляющее воздействие подаётся на объект. Такой подход обеспечивает плавные переходы между режимами.

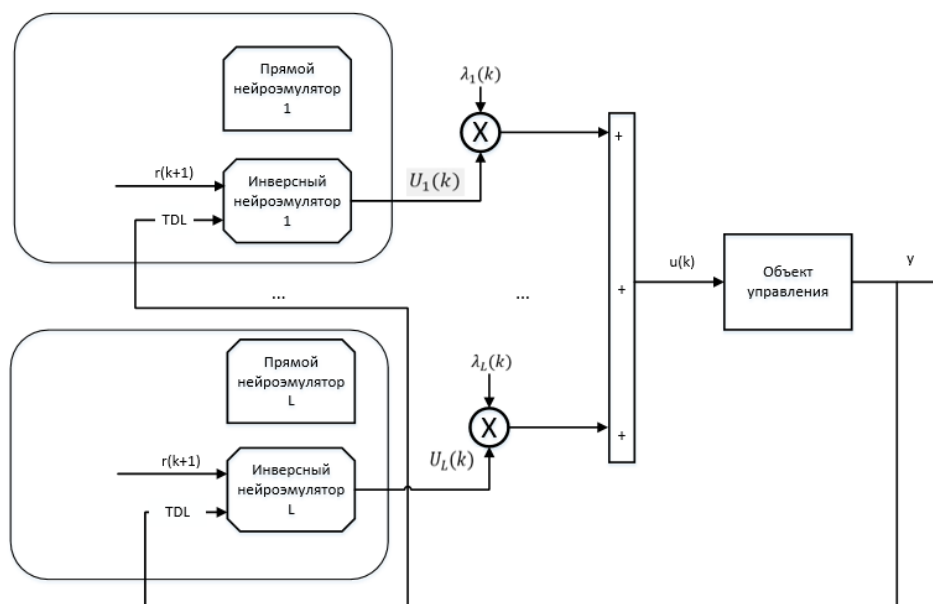


Рис. 3. Схема многомодульного нейроуправления на основе пар прямых и инверсных моделей – этап коллективного управления

Инверсное управление, схема которого представлена на рис. 4, основано на том, что нейросеть учится решать обратную задачу: не по управлению предсказывать выход, а по желаемому выходу находить нужное управление [1, 5]. Для построения такой модели используют разные архитектуры: перцептроны, RBF-сети, рекуррентные сети. Обучать инверсную модель можно по-разному. Можно просто подавать на объект случайные сигналы, записывать, что получается на выходе, и учить сеть восстанавливать управление по выходу. А можно сначала обучить прямую модель, а потом через нее распространять ошибку обратно, чтобы настроить инверсную сеть. После обучения инверсная сеть работает очень быстро, потому что управление вычисляется за один проход, без всяких итераций. В теплотехнике такой подход может пригодиться для быстрых локальных контуров, но для больших инерционных систем с запаздыванием он не подойдет.

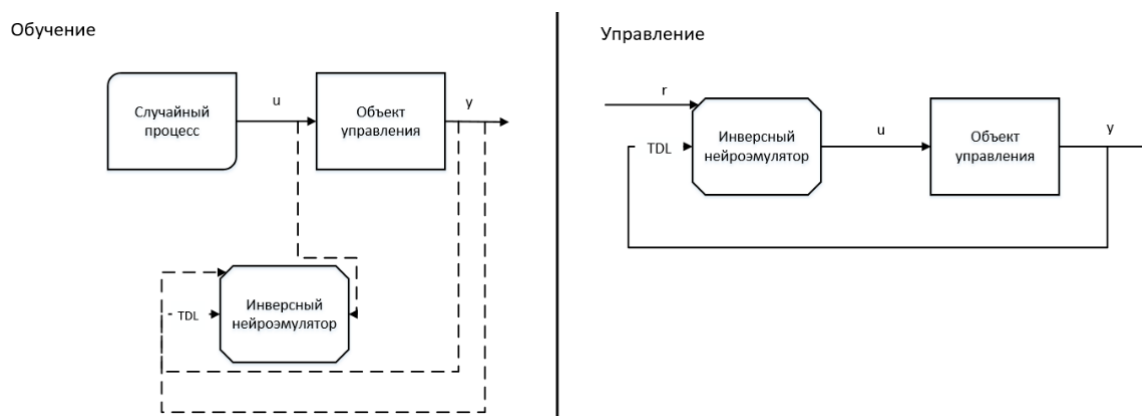


Рис. 4. Схема обобщенного инверсного нейроуправления: слева – режим обучения инверсного нейромодулятора; справа – режим управления объектом

Вспомогательное управление отличается тем, что нейросеть здесь не является главным регулятором. Она выполняет вспомогательные функции, помогая основной системе работать лучше. Идея в том, чтобы включить нейросеть параллельно или последовательно с уже имеющимся регулятором, где она будет решать какие-то специфические задачи, с которыми классические методы справляются плохо. Принцип работы заключается в следующем: нейросеть обучают решать конкретную вспомогательную задачу, подают на ее вход измеряемые сигналы, а ее выход либо суммируют с сигналом основного регулятора, либо используют для предварительной обработки измерений. Обучать ее можно как заранее на собранных данных, так и прямо в процессе работы, адаптируясь к изменениям. Нейросеть не заменяет собой основной закон управления, а лишь дополняет его, поэтому все достоинства исходной системы сохраняются. Это позволяет улучшить характеристики уже работающего оборудования без его кардинальной перестройки.

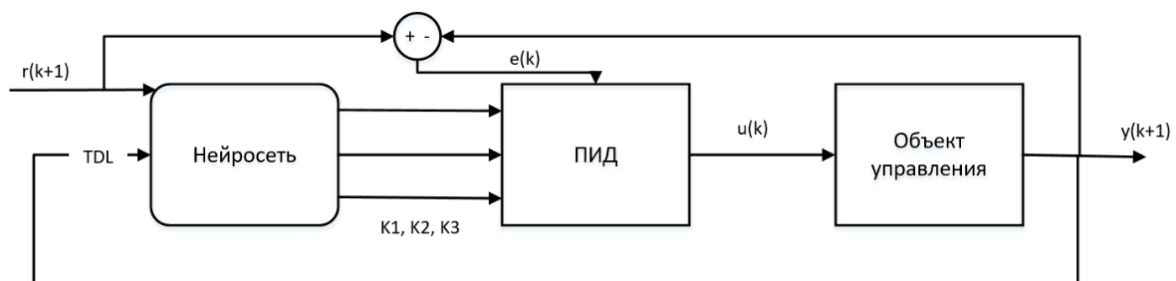


Рис. 5. Функциональная схема вспомогательного управления

Для того чтобы нагляднее представить различия между рассмотренными методами, их основные характеристики сведены в таблицу (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ методов нейросетевого управления

Метод	Сущность подхода	Преимущества	Недостатки
Подражающее	Нейросеть обучается копировать действия существующего регулятора или человека-оператора. Для этого собираются данные: входные сигналы регулятора и соответствующие управляющие воздействия.	- прост в реализации; - позволяет автоматизировать опыт специалиста.	- не адаптируется к новым ситуациям; - за пределами обучающей выборки работает плохо.
Гибридное	Нейросеть работает вместе с классическим регулятором. Возможны последовательное или параллельное включение, а также нейро-ПИД, где нейросеть настраивает коэффициенты K_p , K_i , K_d в реальном времени.	- сочетает надежность классического регулятора с гибкостью нейросети; - можно внедрять поэтапно.	- увеличение вычислительной сложности за счет настройки сразу двух регуляторов; - сложность теоретического анализа

Продолжение таблицы 1. Сравнительный анализ методов нейросетевого управления

Многомодульное	Используется набор нейросетевых модулей-регуляторов, каждый из которых специализируется на определённом режиме работы объекта (пуск, номинальная нагрузка, переходные процессы и т.д.). Супервизор выбирает активный модуль или формирует взвешенное управление.	- высокая точность в каждом режиме; - возможность добавлять новые модули без перестройки существующих.	- трудно определить границы между режимами и правила переключения/взвешивания; - высокие требования к вычислительным ресурсам и памяти.
Инверсное	Нейросеть учится решать обратную задачу: по желаемому выходу находить нужное управление. Для обучения используется либо прямая идентификация, либо распространение ошибки через обученную прямую модель.	- очень быстрое управление (вычисление проходит за один проход); - единообразие подхода для разных объектов.	- сильно зависит от точности построенной обратной модели; - для инерционных систем с запаздыванием может быть неэффективна.

Выбор метода нейросетевого управления определяется динамическими характеристиками объекта, требованиями к точности и быстродействию, а также доступными вычислительными ресурсами. Подражающее управление целесообразно применять при наличии квалифицированного оператора, чей опыт требуется автоматизировать. Гибридные схемы эффективны при модернизации существующих систем автоматики. Многомодульный подход оправдан для объектов с резко меняющимися режимами работы. Инверсное управление обеспечивает максимальное быстродействие, но требует тщательной идентификации объекта. Вспомогательное управление целесообразно применять для улучшения характеристик уже работающих систем без их кардинальной перестройки. Прогнозирующее управление эффективно в задачах, где важно учитывать будущее поведение объекта и работать с ограничениями.

Наибольшее распространение имеет гибридный метод нейросетевого управления, так как он более универсален, имеет возможность поэтапного внедрения и сочетает в себе надежность классических регуляторов с адаптивностью нейросетей. Данная структура будет использована в диссертационной работе.

Литература

- [1]. Поклад П.М. Анализ методов интеллектуализации управления сложными динамическими объектами // Электронный научный журнал. 2022. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-intellektualizatsii-upravleniya-slozhnymi-dinamicheskimi-obektami> (дата обращения: 21.02.2026).
- [2]. Федяев О.И., Зубань А.В., Куликов С.А. Технологии нейросетевого управления динамическими объектами / Портал магистров ДонНТУ. URL: <https://masters.donntu.ru/2004/fvti/tikhonov/library/01fedyaev.htm> (дата обращения: 05.02.2026).

- [3]. Бутрин А.В., Феофилов С.В. Подходы к использованию искусственных нейронных сетей в задачах автоматического управления // Труды 24-й Международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методы, технологии». Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2024. С. 629-638.
- [4]. Мамонова Т.Е. Искусственный интеллект и нейросетевое управление: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2020. 149 с.
- [5]. Шарапаев Л.А. Касание предмета манипулятором робота под управлением нейросети // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. 2007. № 10. С. 56-60.

*И.С. Гришин, студ.; Г.С. Родяхин, студ; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ

В современной экономической реальности наблюдается устойчивый рост интереса к технологиям искусственного интеллекта (ИИ) со стороны бизнеса. Однако, несмотря на технологический ажиотаж и значительные инвестиции в разработку и внедрение нейросетевых моделей, многие компании сталкиваются с парадоксальной ситуацией: внедрение дорогостоящих алгоритмов не приводит к ожидаемому пропорциональному росту производительности труда и эффективности бизнес-процессов. Данное явление, впервые описанное нобелевским лауреатом Робертом Солоу применительно к эпохе компьютеризации, сегодня обретает новое звучание в контексте развития искусственного интеллекта и получило название «парадокс производительности Солоу» для эпохи ИИ [1].

Традиционный подход к автоматизации, доминировавший в управленческой мысли на протяжении десятилетий, исходит из презумпции, что автоматизация любых процессов выгодна всегда и везде, поскольку позволяет сократить издержки и повысить скорость операций. Однако нейросетевые технологии принципиально отличаются от классической автоматизации: они представляют собой не просто замену физического труда машинным, а замещение когнитивных функций человека, связанных с обработкой неструктурированной информации и принятием решений в условиях неопределенности [2]. На наш взгляд, для корректного определения целесообразности внедрения нейросетей необходимо предварительно классифицировать все бизнес-процессы компании на три принципиально различных типа, каждый из которых требует особого подхода к автоматизации.

Первый тип – рутинные детерминированные процессы (R-тип). К данной категории относятся процессы с четко прописанными алгоритмами, предсказуемым входным потоком данных и однозначно определяемым результатом на выходе. Примерами могут служить расчет заработной платы, ведение складского учета, формирование стандартной отчетности. В этих процессах применение нейросетевых моделей является избыточным, поскольку классическое программное обеспечение, основанное на формальной логике и детерминированных алгоритмах, справляется с поставленными задачами не

хуже, а зачастую быстрее и с меньшими затратами на вычислительные ресурсы [3]. Инвестиции в нейросети для автоматизации процессов R-типа, как правило, экономически неоправданны.

Второй тип – рутинные недетерминированные процессы (N-тип). Эта категория объединяет процессы с высокой долей повторяющихся операций, которые, однако, требуют принятия решений на основе анализа неструктурированных или слабоструктурированных данных. Классические примеры включают кредитный скоринг в банках, анализ обращений в службу технической поддержки, обработку первичной медицинской документации, проверку юридических договоров на соответствие стандартным условиям. Именно эти процессы, сочетающие рутинный характер выполняемых операций с необходимостью когнитивной обработки разнородной информации, представляют собой идеальную среду для применения нейросетевых технологий [2, 3]. Здесь возникает разрыв между сложностью и объемом поступающих данных, с одной стороны, и ограниченностью человеческих когнитивных способностей по их обработке – с другой, и этот разрыв способна эффективно преодолеть нейросеть [4].

Третий тип – креативные и стратегические процессы (С-тип). К данной категории относятся виды деятельности, требующие эмпатии, интуиции, глубокого понимания контекста, способности к нестандартным решениям и стратегическому целеполаганию. Примерами служат проведение сложных переговоров, разработка долгосрочной стратегии развития компании, формирование бренд-политики, научные исследования. В этих процессах нейросетевые модели могут выступать исключительно в роли вспомогательного инструмента, ассистента, предоставляющего информацию и аналитические выкладки для принятия решений человеком, но не в качестве полноценной замены специалиста [3].

Исходя из предложенной классификации, мы полагаем, что экономически оправданным является внедрение нейросетевых технологий преимущественно в процессы N-типа, поскольку именно здесь локализован основной потенциал повышения эффективности за счет замещения рутинного когнитивного труда машинным.

Для количественной оценки потенциала автоматизации того или иного процесса в рамках настоящего исследования предлагается использовать понятие «коэффициента когнитивной избыточности» (ККИ). Данный показатель измеряет долю рабочего времени высококвалифицированного специалиста, которая затрачивается им на выполнение низкоквалифицированных или рутинных мыслительных операций, потенциально подлежащих автоматизации с помощью нейросетевых моделей. Концептуально формула для расчета может быть представлена следующим образом:

$$KKI = \frac{T_{\text{общее}} - T_{\text{мыслит.}}}{T_{\text{общее}}} * 100\%,$$

где Тобщее – общее рабочее время специалиста, учитываемое в рамках исследуемого процесса, а Тмыслит. – время, затрачиваемое непосредственно на уникальную творческую или экспертную деятельность, требующую его профессиональной квалификации. Например, если корпоративный юрист тратит 70% своего рабочего времени на обезличенный анализ типовых договоров и поиск релевантной судебной практики вместо разработки стратегии защиты интересов компании в сложных спорах, это соответствует ККИ = 70%. Чем выше значение ККИ, тем большая часть фонда оплаты труда может быть высвобождена или перераспределена на более ценные задачи при условии успешной автоматизации, и тем выше потенциальная экономическая эффективность внедрения нейросетевой модели.

Нами были выведены следующие эмпирические ориентиры для значения ККИ, которые могут служить основой для принятия управленческих решений.

Таблица 1. Эмпирические ориентиры для оценки целесообразности внедрения нейросетей на основе ККИ

Значение ККИ	Интерпретация
Менее 30%	Внедрение нецелесообразно: доля рутинных когнитивных операций слишком мала, чтобы окупить затраты на разработку, интеграцию и сопровождение нейросетевой модели. Высвобождаемое время специалиста не создаст достаточного экономического эффекта.
30-50%	Зона неопределенности: формально потенциал для автоматизации присутствует, но требуется дополнительный анализ. Необходимо учитывать такие факторы, как стоимость разработки, сложность интеграции с существующими системами, готовность персонала к изменениям. Рекомендуется проведение пилотного проекта.
50-75%	Зона устойчивой эффективности: проект с высокой вероятностью будет рентабелен. Экономия от высвобождения времени специалистов и перераспределения его на более ценные задачи с высокой долей вероятности превысит затраты на внедрение. Рекомендуется к реализации.
Более 75%	Зона критической избыточности: процесс крайне неэффективно организован с точки зрения использования квалификации персонала. Внедрение нейросетей не только желательно, но и необходимо для сохранения конкурентоспособности. Однако следует учитывать риск сопротивления персонала, чья текущая занятость может быть полностью автоматизирована.

Дополнительным фактором, который следует учитывать при интерпретации ККИ, является принадлежность процесса к определенному типу согласно предложенной классификации. Для процессов R-типа даже высокие значения ККИ не являются основанием для внедрения нейросетей, поскольку существуют

более простые и дешевые методы автоматизации на основе классического программного обеспечения. Для процессов С-типа внедрение нейросетей возможно только в качестве ассистивного инструмента, и ККИ здесь должен интерпретироваться не как показатель для замещения специалиста, а как индикатор потенциала для повышения его производительности за счет делегирования рутинных операций алгоритмам.

Наибольшую прогностическую ценность ККИ демонстрирует именно для процессов N-типа. В этом случае он позволяет не только оценить потенциальную экономию, но и косвенно указывает на наличие структурной проблемы в организации труда, когда высокооплачиваемые специалисты вынуждены выполнять работу, не соответствующую их квалификации. Высокий ККИ (более 50%) в процессах N-типа сигнализирует о том, что компания несет скрытые издержки, связанные с неэффективным использованием человеческого капитала, и внедрение нейросетей способно эти издержки устранить.

Важно подчеркнуть, что ККИ не учитывает такой важный фактор, как риск технологического отставания от конкурентов. В быстро меняющейся рыночной среде даже процессы с умеренными значениями ККИ (30–50%) могут требовать внедрения нейросетевых решений, если конкуренты уже активно используют аналогичные технологии и получают за счет этого рыночные преимущества. Поэтому при принятии окончательного решения значение ККИ должно рассматриваться в комплексе с анализом конкурентной среды и стратегическими приоритетами компании. Однако в рамках предлагаемого подхода именно ККИ выступает в роли базового, первичного фильтра, позволяющего отсеять заведомо неэффективные проекты и сконцентрировать инвестиции на направлениях с наибольшим потенциалом.

Проведенное исследование позволяет сформулировать общий вывод о том, что целесообразность внедрения нейронных моделей в бизнес-процессы может быть объективно измерена с помощью единого показателя – коэффициента когнитивной избыточности. Предложенная методика, основанная на классификации процессов и расчете ККИ, позволяет минимизировать субъективность принимаемых решений и сконцентрировать инвестиции на тех направлениях, где они действительно способны принести измеримый экономический эффект. Максимальную отдачу от внедрения нейросетей следует ожидать в процессах N-типа со значениями ККИ, превышающими 50%. Стратегия точечного внедрения, опирающаяся на значение ККИ, в отличие от подхода тотальной цифровизации всех процессов без разбора, позволяет минимизировать риски возникновения «парадокса производительности» и получить реальный, измеримый прирост эффективности и конкурентоспособности бизнеса.

Литература

- [1]. Solow R. We'd better watch out // New York Times Book Review. – 1987. – July 12. – P. 36.
- [2]. Brynjolfsson E., McAfee A. The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. – W.W. Norton & Company, 2014. – 320 p.

- [3]. Davenport T.H., Ronanki R. Artificial Intelligence for the Real World // Harvard Business Review. – 2018. – Vol. 96, No. 1. – P. 108-116.
- [4]. Manyika J., Chui M., Miremadi M., et al. Notes from the AI frontier: Modeling the impact of AI on the world economy // McKinsey Global Institute. – 2018. – 60 p.

*И.С. Гришин, студ.; рук А.И. Гаврилов, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И ИХ ПЕРВИЧНЫХ ПРИЗНАКОВ ПО ДАННЫМ ВИБРОДАТЧИКОВ

Современное промышленное производство характеризуется высокой степенью автоматизации, основой которой являются различные электроприводы. Надежность и бесперебойность технологических процессов напрямую зависят от их технического состояния. Внезапный отказ электропривода может привести не только к дорогостоящему ремонту, но и к длительным простоям оборудования, что влечет за собой значительные экономические потери.

Традиционная система планово-предупредительных ремонтов не всегда эффективна, так как не учитывает фактическое состояние конкретного агрегата. Более перспективным является переход к обслуживанию по фактическому состоянию, что требует применения методов технической диагностики. Среди множества методов диагностики (термография, анализ потребляемого тока, контроль частичных разрядов) вибрационный метод занимает особое место. Вибрация является интегральным параметром, чутко реагирующим на изменения в механической и электромагнитной системах двигателя.

Вибрация электрической машины возникает под действием переменных сил различной физической природы. Их можно разделить на две основные группы: механического и электромагнитного происхождения [1].

К механическим факторам относятся: неуравновешенность (дисбаланс) вращающихся частей (ротора, муфты, шкива), дефекты подшипников, несоосность валов, деформация элементов конструкции, резонансные явления [5].

Электромагнитные факторы связаны с процессами преобразования энергии в магнитном поле машины. К ним относятся: неравномерность воздушного зазора, пульсации электромагнитного момента из-за высших гармоник поля, обрывы стержней ротора, витковые замыкания в обмотках [3].

На практике вибрация, регистрируемая датчиком, представляет собой сложный полигармонический сигнал, содержащий вращательную частоту (оборотную частоту $f_{вр} = n/60$ Гц, где n – частота вращения в об/мин), её гармоники, субгармоники, а также модуляционные составляющие. Анализ амплитуд и частот этих составляющих позволяет идентифицировать развивающийся дефект.

Все многообразие отказов электроприводов, поддающихся вибродиагностике, можно разделить на несколько характерных групп. В таблице 1 представлена обобщенная классификация, составленная на основе анализа технической литературы и руководств по диагностике [1, 3, 5].

Таблица 1. Классификация отказов электроприводов и их вибрационные признаки

Категория отказа	Типовая неисправность	Первичные вибрационные признаки
Механические отказы	Дисбаланс ротора	Преобладание вибрации на оборотной частоте ($1 \times f_{вр}$). Амплитуда вибрации растет пропорционально квадрату частоты вращения. Вибрация преимущественно радиальная
	Несоосность валов	Высокий уровень вибрации на второй ($2 \times f_{вр}$) и третьей ($3 \times f_{вр}$) гармониках оборотной частоты. Часто сопровождается высокими осевыми вибрациями.
	Износ подшипников качения	Появление в спектре вибрации широкополосного шума («подшипникового» шума). По мере развития дефекта возникают дискретные составляющие на частотах, рассчитываемых по геометрии подшипника: частота перекатывания тел качения по наружному и внутреннему кольцам, частота вращения сепаратора и дефекта тел качения.
	Износ подшипников скольжения	Возрастание вибрации на оборотной частоте. При увеличении зазоров возможно появление субгармоник ($\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ от $f_{вр}$) и масляной вибрации (вибрация с частотой, близкой к половине оборотной).
Электрические отказы	Обрыв или трещина стержней «беличьей клетки» (ротор)	Появление в спектре вибрации боковых полос вокруг оборотной частоты и вокруг гармоник питающей сети (50 Гц), отстоящих на удвоенную частоту скольжения ($2 \cdot s \cdot f_c$). Характерна модуляция вибрации по амплитуде с частотой скольжения.
	Витковое замыкание в обмотке статора	Увеличение вибрации на двойной частоте сети ($2 \times f_c$, 100 Гц) из-за искажения магнитного поля и появления одностороннего магнитного притяжения ротора к статору. Вибрация может исчезать при отключении питания.
	Неравномерность воздушного зазора (эксцентриситет ротора)	Рост вибрации на оборотной частоте и частоте, проходящей через полюса (в синхронных машинах). Сопровождается появлением гармоник, кратных частоте сети.
	Дефекты коллекторно-щеточного узла (машины пост. тока)	Искрение вызывает высокочастотную вибрацию, передающуюся на щеткодержатели и корпус. Износ пластин коллектора может вызывать вибрацию на частоте, кратной числу пластин и частоте вращения.

Для эффективного обнаружения перечисленных признаков необходимо проводить вибродиагностику с соблюдением определенных правил.

Измерения проводятся в трех направлениях (вертикальном, горизонтально-поперечном и осевом) на подшипниковых опорах двигателя [2].

Диагностика требует анализа как в низкочастотной области (до 20 кГц) для оценки состояния подшипников, так и в узких полосах в области низких частот (до 500 Гц) для анализа оборотных и электрических составляющих.

Метод спектра огибающей высокочастотной вибрации является ключевым для диагностики подшипников качения на ранней стадии, так как позволяет выделить ударные импульсы, модулирующие высокочастотный шум [4].

Важным диагностическим приемом является сравнение вибрации на работающем двигателе и на выбеге (после отключения питания). Исчезновение вибрации после отключения указывает на ее электромагнитную природу [5].

Проведенная классификация показывает, что различные по своей природе отказы электроприводов генерируют вибрационные сигналы с характерными частотными признаками. Знание этих признаков позволяет перейти от простого контроля общего уровня вибрации к углубленной диагностике, идентифицирующей конкретный дефект на ранней стадии его развития.

Наиболее информативными параметрами являются амплитуды гармоник оборотной частоты (для механических дефектов), амплитуда вибрации на частоте 100 Гц (для оценки состояния магнитной системы) и появление модуляционных боковых полос (для диагностики ротора и подшипников).

Разработанная систематизация вибрационных признаков может быть использована при создании экспертных систем и автоматизированных рабочих мест диагностов, обслуживающих промышленное оборудование.

Литература

- [1]. Акименко, В. В. Виды отказов электрических двигателей, их признаки, причины и методы устранения / В. В. Акименко. – Текст : электронный // КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-otkazov-elektricheskikh-dvigateley-ih-priznaki-prichiny-i-metody-ustraneniya> (дата обращения: 11.03.2026).
- [2]. ГОСТ Р ИСО 13373-1-2009. Контроль состояния и диагностика машин. Вибрационный контроль состояния машин. Часть 1. Общие методы. – Введ. 2011-01-01. – М. : Стандартинформ, 2010. – IV, 41 с.
- [3]. Копылов, И. П. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. / И. П. Копылов, Б. К. Клоков. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – Т. 1. – 456 с.
- [4]. Проблемы электродвигателей на производстве – типичные неисправности электромоторов. – Текст : электронный // Энергетика и промышленность России. – 2024. – URL: <https://www.eprussia.ru/com/articles/726195.htm> (дата обращения: 11.03.2026).
- [5]. Степанов, П. И. Механические и электрические диагностические параметры электрических приводов / П. И. Степанов, С. В. Лагуткин, Ю. Р. Никитин. – Текст : электронный // Интеллектуальные системы в производстве. – 2014. – № 2 (2). – С. 59–63. – URL: <https://izdat.istu.ru/index.php/ISM/article/view/1867> (дата обращения: 11.03.2026).

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБЪЕМА ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ

При проектировании систем предиктивной аналитики электроприводов ключевым фактором становится обоснованный выбор емкости хранилища для данных вибрации, температуры и тока. Существующие подходы ориентированы на IT-мониторинг и не учитывают особенности непрерывной регистрации высокочастотных сигналов в промышленной среде. При масштабировании до десятков и сотен контролируемых узлов объем данных напрямую влияет как на стоимость системы, так и на глубину ретроспективы, необходимой для обучения моделей и анализа трендов.

Предлагается методика расчета объема хранилища, основанная на стратегии многоуровневого хранения: первичные данные сохраняются ограниченное время, а для долговременного анализа используются агрегированные представления:

$$V_{\text{системы}} = O * \left(\sum_{i=1}^N V_{\text{канала } i} + \sum_{j=1}^M V_{\text{агрегат } j} \right) * R, \quad (1)$$

где:

$$V_{\text{канала}} = C * T * F * \frac{B}{8} * (1 + \gamma) * \frac{1}{\delta}, \quad (2)$$

$$V_{\text{агрегат}} = C * T_j * \frac{F}{K_j} * \frac{B_j}{8} * (1 + \gamma) * \frac{1}{\delta}, \quad (3)$$

где:

O – количество объектов мониторинга;

C – количество однородных каналов объекта;

R – коэффициент репликации данных;

F – частота дискретизации, Гц;

T – время хранения, секунд;

B – разрядность данных, бит;

γ – коэффициент избыточности на служебные структуры СУБД;

δ – коэффициент сжатия данных;

K_j – коэффициент прореживания для j-го уровня агрегации;

T_j – срок хранения этого уровня, сек;

B_j – разрядность агрегированных данных, бит.

Рассмотрим подробнее составляющие предложенных формул.

Предлагаемая формула имеет блочно-иерархическую структуру, что обусловлено тремя ключевыми особенностями систем мониторинга электроприводов: наличием разнородных типов сигналов, применением

многоуровневого хранения и необходимостью учета технологических факторов (сжатие, служебные расходы).

Базовая часть формулы $C * T * F * \frac{B}{8}$ представляет собой классическое выражение для объема оцифрованного сигнала: произведение количества отсчетов на разрядность одного отсчета с поправкой на количество каналов.

Множитель $1 + \gamma$ введен для учета служебных структур базы данных. В отличие от файлового хранения, где данные просто записываются последовательно, СУБД создает дополнительные индексы, временные метки и теги, которые могут занимать значительный объем. Для временных рядов этот коэффициент особенно важен, так как индексация по времени является обязательной.

Множитель $1 + \delta$ отражает эффект сжатия данных. Вибросигналы обладают избыточностью, которая может быть устранена специализированными алгоритмами сжатия без потерь.

Формула для агрегированных данных строится по тому же принципу, но с двумя важными модификациями. Во-первых, частота дискретизации уменьшается в K_j раз ($\frac{F}{K_j}$) для перехода к более редким отсчетам, например, хранение не всех мгновенных значений, а только спектров или среднеквадратических значений (СКЗ) за интервал. Во-вторых, вводится собственная разрядность B_j , так как агрегаты могут требовать иной точности для корректного накопления статистических ошибок при усреднении.

Разделение на сумму канальных и агрегированных данных выполняется для учета стратегий многоуровневого хранения.

Однако итоговая величина объема напрямую зависит от того, насколько эффективно каждый тип данных может быть сжат без потери информации.

Рассмотрим коэффициент сжатия δ для разных типов сигналов. В таблице 1 приведены типичные значения сжатия без потерь, полученные на основе анализа литературных и технических источников [3, 4, 5].

Таблица 1 – Зависимость коэффициентов сжатия от характера сигнала

Тип данных	Характер сигнала	Типичный коэффициент сжатия без потерь
Сырая вибрация	Высокочастотный, близкий к шуму	1,5-2,5
Спектры	Структурированный	3-5
Агрегированные показатели	Медленно меняющиеся	8-12
Температура, ток	Плавные тренды	4-6

Коэффициент γ для специализированных временных СУБД составляет 0,2-0,3 (20-30%), для универсальных реляционных СУБД может достигать более высоких значений [1, 2].

Рассмотрим гипотетическую систему мониторинга, включающую 10 электроприводов, каждый из которых оснащен:

2 каналами вибрации, $F = 25,6$ кГц, $B = 24$ бит, срок хранения сырых данных $T = 30$ дней;

1 каналом температуры, $F = 10$ Гц, $B = 16$ бит, $T = 30$ дней;

1 каналом тока, $F = 1$ кГц, $B = 16$ бит, $T = 30$ дней.

Для вибросигналов предусмотрены два уровня агрегации:

Спектры: $K1 = 100$, $B1 = 32$ бит, $T1 = 365$ дней;

Среднеквадратическое значение: $K2 = 3600$, $B2 = 32$ бит, $T2 = 1095$ дней (3 года).

Принятые допущения: $\gamma = 0,25$; $\delta = 2$ (вибрация), 4 (спектры), 10 (агрегаты), 5,0 (ток, температура); $R = 2$ (синхронная репликация).

Основываясь на вышеописанных данных, проведем расчет требуемого объема хранилища для одного привода (в гигабайтах):

вибрация:

$$V_{\text{канала виб.}} = 2 * 2592000 * 25600 * \frac{24}{8} * (1 + 0.25) * \frac{1}{2} = 231,74 \text{ ГБ};$$

температура:

$$V_{\text{канала тем.}} = 1 * 2592000 * 10 * \frac{16}{8} * (1 + 0.25) * \frac{1}{5} = 0,01207 \text{ ГБ};$$

ток:

$$V_{\text{канала ток.}} = 1 * 2592000 * 1000 * \frac{16}{8} * (1 + 0.25) * \frac{1}{5} = 1,21 \text{ ГБ};$$

спектры:

$$V_{\text{агрег.виб.}} = 2 * (365 * 86400) * \frac{25600}{100} * \frac{32}{8} * (1 + 0.25) * \frac{1}{4} = 18,8 \text{ ГБ};$$

СКЗ:

$$V_{\text{агрегат виб.}} = 2 * (365 * 86400) * \frac{25600}{3600} * \frac{32}{8} * (1 + 0.25) * \frac{1}{10} = 0,20855 \text{ ГБ};$$

Суммарный объем на один привод: 251,97 ГБ. Общий объем системы из десяти объектов с учетом репликации:

$$V_{\text{системы}} = 10 * (\sum_{i=1}^N V_{\text{канала } i} + \sum_{j=1}^M V_{\text{агрегат } j}) * 2 = 10 * 251,97 * 2 = 5039,4 \text{ ГБ}.$$

Выбранные значения соответствуют техническим характеристикам реального оборудования и сложившейся практике. Сроки хранения определены из баланса между диагностической ценностью и экономической целесообразностью. Коэффициенты прореживания (100, 3600) соответствуют стандартным интервалам осреднения. Репликация R равная 2 обеспечивает отказоустойчивость при минимальной избыточности.

Известные методы оценки объема данных ориентированы на иные условия применения. Наиболее близкий аналог – формула для TDMS файлов (формата, разработанного компанией National Instruments для сохранения данных измерений и симуляций) – учитывает только сырые данные без поправок на сжатие, служебную информацию СУБД и многоуровневую агрегацию. Предложенная методика адаптирована к задачам вибродиагностики электроприводов и пригодна для обоснования требований к аппаратному обеспечению на этапе проектирования.

Литература

- [1]. Базаревский В.Э. Организация хранилищ данных для распределенной системы анализа вибрационных сигналов // Доклады БГУИР. 2013. № 8 (78). С. 47–52.
- [2]. Назаров Д.А., Голубков А.В. Анализ эффективности СУБД для хранения данных промышленного интернета вещей // Промышленные АСУ и контроллеры. 2021. № 4. С. 23–29.
- [3]. Смирнов П.С. Методы сжатия вибросигналов без потерь в системах непрерывного мониторинга // Вестник МЭИ. 2022. № 5. С. 67–74.
- [4]. Lee S., Kim J. Lossless Compression of Vibration Sensor Data for Predictive Maintenance // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 45123–45132.
- [5]. Prometheus Team. Storage in Prometheus [Электронный ресурс] // Prometheus Documentation. – 2026. – Режим доступа: prometheus.io

*Я.В. Деева, студ.; рук. И.А. Денисова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ИГРОВОГО МИРА В ДВУМЕРНОЙ РОЛЕВОЙ ИГРЕ

Создание игрового мира является фундаментальной задачей при разработке любой ролевой игры, поскольку именно в нем определяются границы возможностей игрока, создается атмосфера и формируется основа для игровых механик. Понимая важность этих решений, разработчик неизбежно сталкивается с необходимостью выбора между различными подходами к построению игрового пространства, каждый из которых имеет свои технические особенности, требования к производительности и влияние на игровой опыт.

В зависимости от задач проекта игровые миры в ролевой игре могут принимать самые разные формы. Это могут быть подземелья с коридорами и секретными комнатами или пещеры с их органичной, природной структурой. Возможно, это открытые миры, где игрок может свободно перемещаться между различными ландшафтами. Так же возможны города с планировкой улиц и кварталов и интерьеры зданий с несколькими помещениями. Так как каждый тип миров обладает различной структурой, разработчику приходится подбирать методы создания мира под конкретные задачи.

Среди подходов к созданию игрового мира можно выделить ручное создание и процедурную генерацию.

Ручное создание мира предполагает, что каждый элемент уровня размещается дизайнером вручную, что обеспечивает максимальный контроль над структурой мира, позволяет создавать уникальные, тщательно продуманные локации и гарантирует логическую связность и эстетическую целостность. Разработчики при ручном подходе могут расставлять акценты, создавать запоминающиеся ориентиры и точно контролировать темп прохождения, однако основной недостаток – высокие временные затраты и ограниченная реиграбельность, поскольку каждое прохождение происходит в одних и тех же локациях.

Основная идея процедурной генерации заключается в том, что игровой контент создается не вручную художниками, а компьютерами, выполняющими четко определенную процедуру [1]. Чтобы не потерять контроль над процессом разработки, желательно, чтобы художники и дизайнеры все еще могли влиять на конечный продукт, настраивая параметры процедуры. Это особенно актуально для инди-разработчиков и небольших студий, так как позволяет значительно оптимизировать затраты ресурсов, времени. Основная сложность процедурной генерации состоит в обеспечении логической и стилистической связности генерируемых миров, т.к. алгоритмы должны создавать не просто случайные наборы тайлов.

Можно выделить шесть ключевых алгоритмов процедурной генерации, применимых для создания двумерных миров.

1. Binary Space Partitioning (BSP).

Представляет собой алгоритм рекурсивного разбиения пространства на прямоугольные области. Используется для создания подземелий, состоящих из комнат и коридоров.

Принцип работы: создается корневой узел, т.е. вся доступная прямоугольная область уровня, и эта область рекурсивно делится на меньшие прямоугольники (вертикальными, горизонтальными линиями или случайно) до достижения минимального размера. В каждом полученном листе создается комната, обычно с отступом от границ для разнообразия. При обходе алгоритмом дерева снизу-вверх, комнаты соединяются коридорами. Это может производиться разными способами: центры комнат соединяются прямыми коридорами, соединяются случайные точки на границах комнат либо создаются Т-образные или Г-образные коридоры. Такой принцип работы приводит к однообразности и искусственности – формы только прямоугольные и прямые. В то же время BSP гарантирует связанность всех комнат между собой [2].

2. Wave Function Collapse (WFC).

Является современным алгоритмом, вдохновленным интерпретацией квантовой механики, использует входные данные.

Принцип работы: создается сетка заданного размера, и каждая ячейка в ней находится в суперпозиции (содержит все тайлы из входного набора). Выбирается ячейка с наименьшей энтропией (наименьшим количеством вариантов) и «коллапсирует» в одно из состояний. Энтропия вычисляется как $H(x) = -\sum(p_i \times \log(p_i))$, где p_i – вероятность i -го состояния. Далее информация

распространяется на соседние ячейки – проверяется, какие тайлы возможны с только что выбранным. Недопустимые варианты удаляются из суперпозиции соседних ячеек. Процесс повторяется, пока все ячейки не коллапсированы или какая-то из них окажется без вариантов (будет перезапуск или возврат к предыдущему состоянию, что усложняет работу). Входные данные в одном случае могут быть в виде примера изображения, когда алгоритм самостоятельно анализирует какие комбинации есть в примере. Во втором случае разработчик сам задает правила соседства. Благодаря образцу или правилам результат получается красивым, а не случайным – тайлы сочетаются между собой.

3. Случайное блуждание.

Это алгоритм, при котором один или несколько "агентов" перемещаются по сетке случайным образом, создавая проходы, комнаты и коридоры. Это самый элементарный метод процедурной генерации.

Принцип работы: агент начинает движение из заданной начальной точки, на каждом шаге он выбирает случайное направление (вверх, вниз, влево или вправо) и перемещается в соответствующую клетку. Каждая посещенная клетка помечается как пол (проходимая область). Процесс продолжается, пока не будет достигнуто максимальное количество шагов или клеток [4].

4. Клеточные автоматы.

Это дискретная модель, состоящая из сетки клеток, каждая из которых может находиться в одном из конечного множества состояний. Состояние клетки в следующем поколении определяется набором правил, основанных на состояниях соседних клеток.

Принцип работы: заполняется матрица случайно, где каждая клетка случайным образом получает начальное состояние (это либо пол, либо стена). Ячейки за пределами матрицы являются стенами. У каждой ячейки внутри есть 8 соседей, включая диагональные – если у нее, например, 5 и более соседей, то она становится стеной, если меньше 5 – становится полом. Большое количество стен, стоящих друг с другом остаются, а те, что стояли по одиночке исчезают, небольшие пустоты заполняются. Благодаря этому через несколько итераций беспорядок самоорганизуется в естественный вид пещер. Но этот метод не гарантирует, что не образуются пустоты, отрезанные от других пещер [2].

5. Шум Перлина.

Это градиентный шум, состоящий из набора псевдослучайных единичных векторов (направлений градиента). У него есть плавные переходы между случайными максимумами и минимумами. Шум Перлина широко используется для генерации ландшафтов, текстур. Для этого нужны не дискретные значения, а непрерывные (0.0-1.0) [2].

Принцип работы: создается сетка с узлами в целочисленных координатах. Для каждого узла (i,j) задается случайный градиент (вектор), направленный в какую-то сторону. Для точки (x,y) вычисляются расстояния до ближайших четырех узлов. От них проводится вектор к этой точке и берется скалярное произведение с вектором этого узла – получается 4 числа. Далее выполняется

интерполяция 4 значений. В итоге число плавно меняется при движении по клеткам.

Шум Перлина не зависит от размера матрицы, генерируется только та часть, которую мы видим. Благодаря этому можно создавать бесконечный мир [2].

Сама по себе функция Перлина генерирует довольно простые структуры. Чтобы получить более сложные, неоднородные поверхности, суммируют несколько слоев шума (октав) с разными частотами.

6. L-системы.

Работают в 2 этапа: сначала они генерируют строку символов по правилам параллельной замены, а затем интерпретируют эту строку как команды для построения геометрических структур. Этот подход не генерирует мир, но наполняет его, особенно ценен для создания органических, ветвящихся объектов и процедурной генерации уровней.

Основные компоненты L-систем: аксиома, алфавит, правила переписывания [3].

Аксиома – начальная строка символов, с которой начинается построение, например, F.

Алфавит – набор символов, которые могут использоваться в системе. Обычно это буквы, обозначающие различные действия или части объекта.

Правила переписывания – набор правил вида `символ → строка`, которые определяют, как каждый символ заменяется на последовательность других символов на каждой итерации, например, $F \rightarrow F-F++F-F$.

Выбор метода генерации зависит от типа контента создаваемого мира. В таблице 1 детально разобраны семь основных подходов к созданию двумерных миров с указанием их специализации и логики применения. Это позволит разработчику осознанно выбирать инструмент под конкретные задачи.

Таблица 1 – Рекомендации по выбору подхода для разных типов проектов

Метод	Приоритет разработки	Тип контента	Обоснование
Ручное создание	Контроль качества и геймплейный баланс	Сюжетные уровни, обучение, ключевые локации	Разработчик имеет абсолютный контроль над каждым тайлом
Случайное блуждание	Скорость генерации и создание «естественных» линий	Реки, тропы, границы биомов, извилистые пещеры	Основная задача – быстро создать органическую, не прямую линию или область
Клеточные автоматы	Симуляция органического роста и «естественных» форм	Пещеры с мягкими краями, острова, органические полости, разрушенные структуры	Несколько итераций простых правил превращают случайный шум в связанные кластеры с «естественными» границами. Это лучший выбор, когда нужно быстро создать фон для уровня

Продолжение таблицы 1 – Рекомендации по выбору подхода для разных типов проектов

BSP	Структурная целостность и модульность	Подземелья: комнаты, связанные коридорами.	Алгоритм рекурсивно делит область на прямоугольники. Приоритет отдается созданию четкой структуры уровней
WFC	Локальная согласованность регионов и эстетика	Согласованные тайловые миры, города, интерьеры, мозаики	Позволяет контролировать результат через набор правил и примеров
Шум Перлина	Плавность градиента и бесконечная вариативность	Континенты, карты высот, распределение биомов, большие ландшафты	Создание плавно меняющегося шума, где соседние точки всегда близки по значению. Это основа любого большого мира
L-системы	Визуальное разнообразие, экономия времени художников	Растения, деревья, кусты, кораллы, разветвленные структуры	Обеспечивает биологическую достоверность флоры в игре без необходимости рисовать тысячи уникальных спрайтов деревьев

Сравнительный анализ показал, что BSP генерация оптимальна для создания классических подземелий с четкой структурой комнат и коридоров. WFC генерация нужна, когда требуется среда с естественными переходами между разными типами поверхностей. Клеточные автоматы и случайное блуждание подходят для генерации пещерных систем. Шум Перлина подходит для создания плавных ландшафтов, а L-системы – для ветвящихся органических структур, например, для растительности.

В конечном итоге выбор подхода к созданию игрового мира в двумерной игре зависит от множества факторов. Каждый из рассмотренных подходов обладает своими преимуществами и ограничениями. Ручное создание обеспечивает максимальный контроль над структурой уровней. Однако этот подход требует значительных временных затрат и не обеспечивает высокую реиграбельность. В то же время процедурные методы позволяют генерировать бесконечно разнообразные миры, тем самым минимизируя затраты ресурсов, но зачастую ограничивают контроль над конечным результатом и требуют настройки алгоритмов. Наиболее перспективными же являются гибридные подходы, учитывающие особенности проекта. Правильное сочетание рассмотренных подходов позволяет компенсировать недостатки каждого из них.

Литература

- [1]. Procedural content generation for games: A survey / M. Hendriks, S. Meijer, J. Van Der Velden, A. Iosup // ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications. – 2013. – №. 1. – С. 1-22.
- [2]. Процедурная генерация [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://gg.xetren.com/procedural_generation (дата обращения: 08.03.26).
- [3]. L-system generator for trees [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/manuelpagliuca/l-system> (дата обращения: 09.03.26).
- [4]. Walker Demo [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://deepwiki.com/gaea-godot/gaea/6.1-walker-demo> (дата обращения: 08.03.26).

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

В настоящее время практически все организации используют разного рода корпоративные веб-приложения для автоматизации тех или иных процессов. И по мере увеличения их количества возрастает и риск проведения успешной хакерской атаки на организацию. В связи с чем необходимо регулярно проводить тестирования на проникновение для имеющихся веб-приложений. При этом не менее важным является вопрос о выборе метода тестирования – ручное позволяет найти больше уязвимостей, но более затратно по времени и требует определенного уровня квалификации от тестировщика, а автоматическое, в свою очередь, быстрое, но поверхностное и не адаптировано к логике работы приложения.

Вопрос тестирования на проникновение и исследования защищенности информационных систем (в том числе и веб-приложений) путем целенаправленного применения компьютерных атак рассматривается в работах С.И. Макаренко [1, 2], в них же приведена терминология, которая будет применена далее в статье. Прежде, чем переходить к основной части, необходимо конкретизировать ряд терминов.

Объект – информационная система (в данном случае – веб-приложение), для которой проводится тестирование.

Тестирование, с практической точки зрения – проверка выполнения требований к системе при помощи наблюдения за ее работой с использованием намеренно выбранных ситуаций.

Компьютерная атака – несанкционированное воздействие на информацию или получение к ней несанкционированного доступа с применением программных средств.

Тестирование на проникновение – процесс проверки объекта тестирования, направленный на выявление в нём уязвимостей путем целенаправленного применения компьютерных атак.

Уязвимость – недостаток объекта, эксплуатация которого делает возможным проведение атаки, влекущим за собой нарушение целостности, конфиденциальности и/или доступности информации.

Следует отдельно остановиться на типах архитектур, которые используются для построения корпоративных веб-приложений. М.А. Титмус в своей книге [3] рассматривает два типа архитектур: монолитную и микросервисную. Монолитная предусматривает размещение всей функциональной части приложения на одном сервере (Рис. 1), на персональном компьютере пользователя расположен только ярлык для запуска. Для небольших или простых приложений - подходящий вариант. Но следует учитывать, что, по мере увеличения количества выполняемых функций возникает ряд проблем:

- поскольку веб-приложение является монолитом, если нужно внести в него какое-либо изменение, то собирать, тестировать и развертывать его придется целиком;

- ошибка, возникшая в приложении, приведет к полной его неработоспособности;

- изменение одного компонента приложения может затронуть другой, что может приводить к ошибкам сборки и затратам ресурсов на отладку.

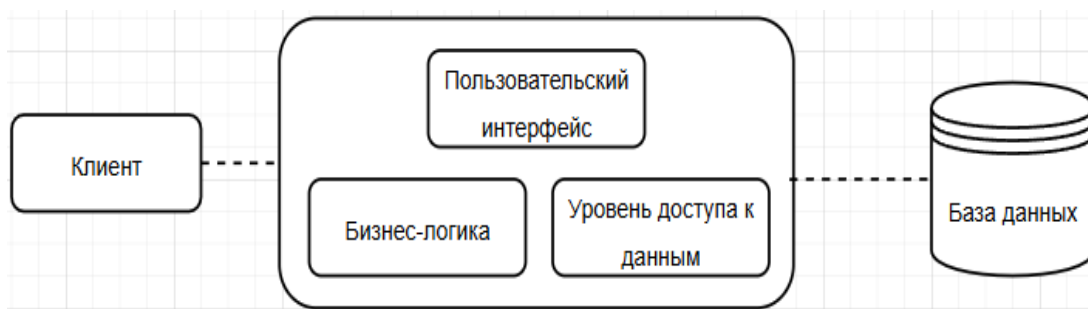


Рис. 1 – Монолитная архитектура

Микросервисная архитектура подразумевает разделение приложения на независимые составляющие, обменивающиеся запросами (рис. 2). Это позволяет обновлять их по отдельности, а ошибки в работе одного компонента не повлияют на остальное приложение. К тому же, развертывать такое приложение и расширять его гораздо удобнее. С другой стороны, следует учитывать, что:

- для работы с микросервисами необходимы квалифицированные специалисты, что подразумевает повышенные расходы на оплату труда;

- несмотря на то, что ошибки в работе отдельно взятого компонента не влияют на остальное приложение, поиск, обнаружение и устранение ошибок является непростой задачей;

- взаимодействие компонентов происходит посредством сетевых запросов, в случае нестабильной работы сети или высокой нагрузки на нее эффективность работы приложения снизится.

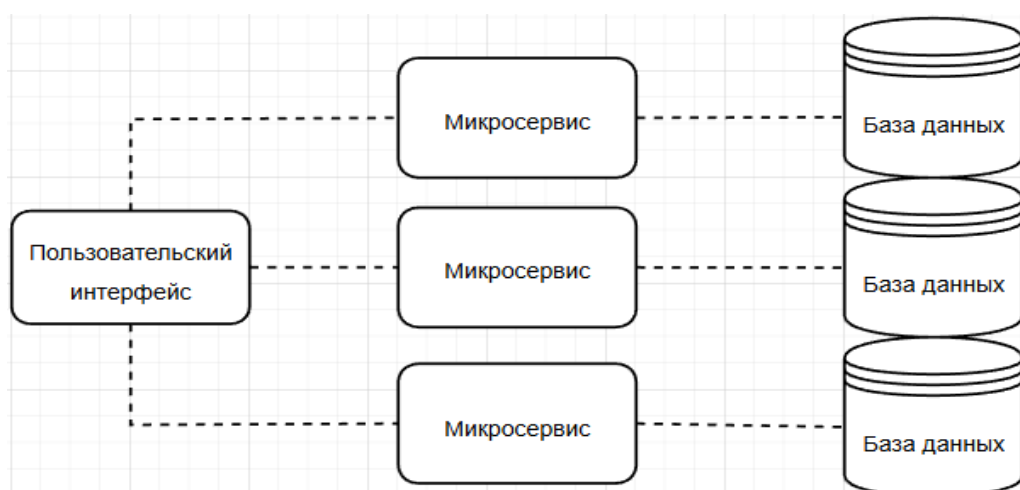


Рис. 2 – Микросервисная архитектура приложения

Чтобы выбрать подходящий для корпоративных веб-приложений метод тестирования на проникновение, необходимо разобраться, какие методы существуют и что они из себя представляют. Авторы С.И. Макаренко, В.Г. Ерышов и К.А. Ларионец в своих работах [1, 4] рассматривают тестирование на основе принципов «белого», «черного» и «серого» ящиков. «Белый» ящик предусматривает наличие у тестировщика полный набор сведений о приложении, от архитектуры, до наличия систем защит. При «черном» ящике, наоборот, информацию придется собирать самостоятельно, данных об объекте нет. «Серый» ящик – нечто среднее; имеется общая информация о тестируемых объектах, предоставленная заранее (например, с целью снижения затрат времени на сбор данных).

С другой точки зрения, тестирование может быть ручным или автоматическим. Ручное тестирование предполагает, что поиском уязвимостей в приложении будет заниматься человек с соответствующей квалификацией, и чем она выше, тем результат будет лучше. Автоматическим считается тестирование с использованием различных инструментов: сканеров портов, сканеров уязвимостей, анализаторов протоколов, утилит для подбора паролей, а также специализированных решений от вендоров.

В таблице 1 приведена сравнительная характеристика вышеуказанных методов по следующим критериям: глубина покрытия (какое количество уязвимостей получится найти), риск отказа системы в ходе тестирования, трудоемкость (затраты времени), стоимость и точность (насколько достоверны находимые уязвимости).

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов тестирования

Вид тестирования	Глубина покрытия	Риск отказа системы в ходе тестирования	Трудоемкость	Стоимость	Точность
Автоматический (белый ящик)	Средняя	Низкий	Низкая	Низкая (при использовании open-source утилит) либо высокая (при использовании специализированных решений)	Средняя
Автоматический (серый ящик)	Средняя	Низкий	Низкая		Средняя
Автоматический (черный ящик)	Низкая	Средний	Средняя		Низкая
Ручной (белый ящик)	Высокая	Низкий	Средняя	Средняя	Высокая
Ручной (серый ящик)	Средняя	Средний	Высокая	Высокая	Высокая
Ручной (черный ящик)	Средняя	Выше среднего	Высокая	Высокая	Высокая

На основании полученных данных можно сделать вывод. Выбирать какой-то один метод – неэффективное решение, поскольку ситуаций, когда нужно провести тестирование, больше, чем одна: это может быть ежегодное плановое тестирование всех приложений или одного конкретного приложения после

выхода у него обновления, тестирование недавно приобретенного программного продукта, проверка уязвимости, которую обнаружили белые хакеры (по программе bug-bounty) и так далее. Для плановых проверок подойдет автоматическая проверка, так как нужно проверить большое количество объектов, и метод «серого ящика», ведь устройство проверяемых объектов частично известно и не изменялось. Недавно обновленное приложение, приобретенное приложение и приложение с уязвимостью, найденной по программе bug-bounty, лучше проверить вручную, поскольку есть вероятность (в последнем случае вероятность близка к 100%) обнаружить новую уязвимость, и это будет «белый» ящик, так как код известен и необходим для детальной проверки.

Литература

- [1]. Макаренко С.И. Тестирование на проникновение на основе стандарта NIST SP 800-115 // Вопросы кибербезопасности. 2022. № 3 (49). С. 44-57.
- [2]. Макаренко, С. И. Справочник научных терминов и обозначений : справочник / С. И. Макаренко. – Санкт-Петербург : Научное издание, 2019. – 254 с. – ISBN 978-5-6042710-3-2. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/329381> (дата обращения: 07.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [3]. Титмус, М. А. Облачный Go / М. А. Титмус ; перевод с английского А. Н. Киселева. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 418 с. – ISBN 978-5-97060-965-1. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/241106> (дата обращения: 07.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [4]. Ерышов В.Г., Ларионец К.А. Основные этапы, методики и средства проведения тестирования на проникновение // Обработка, передача и защита информации в компьютерных системах 22. 2022. С. 208-212.

*М.А. Житушкин, студ.; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ-АНАЛОГОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ

Современный рынок медицинского страхования характеризуется высокими требованиями к скорости обработки информации, точности учета полисов и прозрачности взаиморасчетов между страховыми компаниями, медицинскими учреждениями и застрахованными лицами. В этих условиях автоматизация деятельности страховщика перестает быть просто конкурентным преимуществом, а становится необходимым условием функционирования. Цифровизация отрасли, переход на электронные полисы и взаимодействие с Единой государственной информационной системой в сфере здравоохранения (ЕГИСЗ) требуют от страховых компаний использования современных и гибких информационных систем.

Дополнительным фактором, усиливающим необходимость автоматизации процессов страхования, является рост объема обрабатываемых данных и увеличение количества участников информационного обмена. Страховые компании взаимодействуют не только с клиентами, но и с медицинскими

учреждениями, территориальными фондами обязательного медицинского страхования и государственными информационными системами. В таких условиях использование устаревших или частично автоматизированных решений приводит к увеличению времени обработки заявок, росту числа ошибок и снижению эффективности работы сотрудников.

Проектирование новой информационной системы (ИС) «Медицинское страхование», предназначенной для учета клиентов, полисов ОМС/ДМС и страховых случаев, должно опираться на анализ существующих решений. Это позволяет выявить их сильные и слабые стороны, определить функциональные ниши и сформулировать требования к разработке, которая сможет предложить улучшенный или специализированный функционал. Целью данного исследования является обзор и сравнительный анализ программных продуктов, автоматизирующих деятельность страховых компаний, для обоснования архитектурных и функциональных решений при создании новой системы.

В качестве объектов для анализа были выбраны три решения, наиболее репрезентативно представляющие современный рынок: «1С: Страхование 8», «Контур.Страхование» и МИС «Инфоклиника».

1С: Страхование 8. Данное решение построено на популярной платформе «1С: Предприятие 8», что обеспечивает ему широкую распространенность и высокую адаптируемость под нужды конкретного офиса за счет глубокой кастомизации. Система автоматизирует ключевые бизнес-процессы: от заключения и ведения договоров страхования (как ОМС, так и ДМС) до учета страховых выплат. Благодаря тесной интеграции с бухгалтерским и регламентированным учетом, она формирует единую информационную среду предприятия. К основным преимуществам можно отнести гибкость настройки, соответствие российским стандартам учета и наличие развитой партнерской сети поддержки. Главными недостатками являются сложность освоения, высокие системные требования и, что наиболее важно для современных реалий, ограниченные возможности для интеграции с внешними веб-сервисами и мобильными приложениями без значительных доработок.

«1С: Страхование 8» требует наличия в штате квалифицированных специалистов или партнеров-внедренцев для адаптации типовой конфигурации под конкретные бизнес-процессы страховой компании. Обновления платформы и конфигурации также требуют технического сопровождения и не всегда могут быть выполнены силами рядовых сотрудников без специальной подготовки. Это создает дополнительную нагрузку на IT-отдел и увеличивает совокупную стоимость владения системой [1].

Контур.Страхование. Это облачный сервис (SaaS), разработанный компанией СКБ Контур. В отличие от платформенного решения 1С, «Контур.Страхование» фокусируется на автоматизации взаимодействия между страховым агентом и клиентом. Система позволяет в режиме онлайн рассчитывать стоимость полиса (например, для страхования выезжающих за рубеж), оформлять его и вести базу клиентов. Ключевое преимущество данного продукта – доступность с любого устройства, имеющего браузер, и низкая

стоимость внедрения благодаря облачной модели. Однако, такая архитектура несет и ограничения: функционал жестко задан вендором и не подлежит изменениям под специфические нужды конкретной компании. Кроме того, все данные хранятся на серверах провайдера, что для некоторых организаций может быть критично с точки зрения политики информационной безопасности, а тарифы зависят от количества пользователей и могут расти по мере расширения штата.

С точки зрения функциональности «Контур.Страхование» ориентирован преимущественно на розничный сегмент – страхование выезжающих за рубеж, путешествий, несчастных случаев. Для работы с корпоративными клиентами и программами ДМС юридических лиц функционал сервиса может оказаться недостаточным. Кроме того, работа в облачном сервисе требует постоянного доступа к сети Интернет, что может создавать сложности при временных проблемах с подключением или в периоды проведения технических работ на стороне провайдера [2].

МИС «Инфоклиника». Данная система представляет собой комплексное решение для автоматизации медицинских учреждений, но в контексте медицинского страхования интерес представляет ее функционал по работе с ДМС и страховыми компаниями. «Инфоклиника» включает в себя модули для учета оказанных медицинских услуг, выставления счетов страховым компаниям, контроля взаиморасчетов и формирования отчетности. Система поддерживает интеграцию с ЕГИСЗ и имеет веб-интерфейс. К сильным сторонам можно отнести глубокую проработку медицинской специфики, наличие инструментов для анализа эффективности работы клиники и гибкую систему настройки прав доступа. Однако система изначально ориентирована на медицинские учреждения, а не на страховые компании, поэтому функционал управления страховыми продуктами и полисами (особенно ОМС) в ней ограничен и требует доработки. Кроме того, «Инфоклиника» является сложным и дорогостоящим решением, избыточным для задач небольшой страховой компании.

Дополнительным критерием сравнения может выступать возможность интеграции с внешними информационными системами. «1С: Страхование 8» поддерживает стандартные механизмы обмена данными с продуктами семейства 1С, но для взаимодействия с узкоспециализированными медицинскими системами и государственными информационными ресурсами требуются доработки. «Контур.Страхование» предоставляет API для интеграции, однако его возможности ограничены функционалом самого сервиса. МИС «Инфоклиника» имеет встроенные модули взаимодействия с ЕГИСЗ и лабораторными информационными системами, что является преимуществом для медицинских учреждений, но избыточно для страховых компаний [3].

Для наглядного сравнения рассмотренных систем по ключевым критериям, важным для разработки новой ИС, составлена сводная таблица (Табл. 1). Анализ проводился по таким параметрам, как тип решения и способ развертывания, основные функциональные возможности, клиентские интерфейсы и возможности работы со страхованием.

Таблица 1 – Сравнительный анализ информационных систем-аналогов

Характеристика	1С: Страхование 8	Контур.Страхование	МИС «Инфоклиника»
Тип решения	Платформенное	Облачное (SaaS)	Отраслевое (МИС)
Развертывание	На сервере компании	На сервере провайдера	На сервере компании
Основной функционал	Полный цикл учета (ОМС/ДМС, бухгалтерия, договоры)	Оформление, расчет, база клиентов (фокус на ритейл)	Учет медуслуг, взаиморасчеты с СК, интеграция с ЕГИСЗ
Клиентские интерфейсы	Требуется установка на ПК, веб-доступ ограничен	Современный веб-интерфейс	Веб-интерфейс
Работа со страхованием	Полный цикл (ОМС и ДМС)	Только ДМС (розница)	Учет ДМС (со стороны клиники)

Анализ представленных систем показывает, что каждая из них ориентирована на решение определенного класса задач и имеет собственную архитектурную специфику. Платформенные решения обеспечивают высокую функциональную полноту и гибкость настройки, однако требуют значительных ресурсов на внедрение и сопровождение. Облачные сервисы, напротив, обеспечивают быстрый доступ и удобство использования, но ограничивают возможности кастомизации и контроля над данными. Отраслевые медицинские системы ориентированы преимущественно на автоматизацию деятельности клиник и не всегда учитывают специфику работы страховых организаций.

На основе проведенного анализа можно сформулировать ключевые требования, которым должна удовлетворять разрабатываемая информационная система «Медицинское страхование». Прежде всего, система должна обеспечивать централизованное хранение данных с использованием реляционной СУБД (SQL Server Express) и поддерживать одновременную работу не менее пяти пользователей в локальной сети организации. Важным требованием является наличие интуитивно понятного веб-интерфейса, не требующего установки дополнительного программного обеспечения на клиентские устройства. В отличие от «1С: Страхование 8», новая система должна предоставлять полноценный доступ через браузер с любых устройств. В отличие от облачного сервиса «Контур.Страхование», данные должны храниться на сервере компании, что обеспечивает полный контроль над информацией и соблюдение политики информационной безопасности. И наконец, в отличие от МИС «Инфоклиника», система должна быть ориентирована именно на страховую компанию, а не на медицинское учреждение, и предоставлять специализированный функционал для учета полисов ОМС и ДМС, клиентов и страховых случаев, без избыточной медицинской специфики.

В ходе проведенных исследований сделан обзор известных и наиболее распространенных информационных систем-аналогов, используемых в сфере медицинского страхования, выполнен их анализ, сделаны выводы о ключевых требованиях, которым должна удовлетворять система автоматизации учета в

сфере медицинского страхования, сделаны предположения о создании нового продукта, объединяющего в себе сильные стороны рассмотренных аналогов. Для реализации предложенных требований целесообразно использовать клиент-серверную архитектуру на базе ASP.NET Core MVC и СУБД SQL Server Express. Это позволит обеспечить веб-доступ с любых устройств, централизованное хранение данных на сервере компании и возможность масштабирования, что устраняет недостатки рассмотренных аналогов.

Литература

- [1]. Отраслевые и специализированные решения фирмы «1С» для страховых компаний: – [Электронный ресурс] – Москва. – URL: <https://solutions.1c.ru/catalog/insurance> (дата обращения: 10.03.2026).
- [2]. Контур.Страхование: облачный сервис для страховых агентов: – [Электронный ресурс] – СКБ Контур. – URL: <https://kontur.ru/strahovanie> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. Инфоклиника: медицинская информационная система: – [Электронный ресурс] – URL: <https://infoclinica.ru> (дата обращения: 10.03.2026).

*Т.А. Иванова студ.; рук. М.А. Свириденкова, к. т. н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске»*

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕМЕЙНОЙ АПТЕЧКОЙ НА ANDROID

Рациональное использование лекарственных препаратов является одной из важных задач обеспечения безопасности лечения в домашних условиях. В большинстве семей хранится значительное количество лекарств, которые используются нерегулярно, что приводит к ряду проблем: потере информации о сроках годности, неправильному хранению и нарушению режима приёма. Использование просроченных лекарственных препаратов или несоблюдение назначенного курса лечения может негативно влиять на состояние здоровья.

В условиях цифровизации здравоохранения, которая сегодня является одним из приоритетных направлений государственной политики, появляются новые инструменты для решения обозначенных проблем. Например, в рамках национального проекта «Экономика данных и цифровая трансформация государства», в Тюменской области запущена услуга электронных рецептов в мобильном приложении «Телемед-72» [1]. Мировые тенденции также подтверждают растущий спрос на семейные медицинские решения. Рынок персонализированных медицинских услуг для семей был оценен в 2,38 миллиарда долларов США в 2025 году и, по прогнозам, достигнет 5,16 миллиарда долларов США к 2032 году, увеличившись в среднем на 11,69%. Ключевыми драйверами роста выступают технологические платформы на базе мобильных приложений на базе Android и iOS и интеграция с носимыми устройствами [2].

В настоящее время на рынке мобильных приложений представлено значительное количество программных решений, предназначенных для контроля приёма лекарственных препаратов и управления медицинской информацией пользователей. Такие приложения позволяют формировать

расписание приёма лекарств, получать напоминания и вести учёт состояния здоровья.

Однако функциональные возможности различных приложений существенно отличаются, а часть задач, связанных с управлением домашней аптечкой, остаётся реализованной лишь частично. В связи с этим целесообразно провести сравнительный анализ существующих решений для выявления их функциональных возможностей и ограничений.

Одним из наиболее известных приложений является Medisafe. Данное приложение предназначено для формирования расписания приёма лекарственных препаратов и отправки пользователю уведомлений о необходимости их приёма. Система позволяет создавать индивидуальные схемы лечения, а также отслеживать соблюдение режима приёма лекарств. Основной функционал приложения ориентирован на индивидуальное использование и не предусматривает полноценного управления запасами лекарственных препаратов.

Ещё одним решением является Pills Time, предназначенное для контроля приема лекарственных препаратов и витаминов, приложение предлагает интуитивно понятный интерфейс и подробный дневник приема. Однако функции управления домашней аптечкой и контроля сроков годности реализованы ограниченно.

Также можно выделить приложение Mewdicare, основное назначение которого заключается в формировании напоминаний о приёме лекарств и отслеживании параметров здоровья. Функция отслеживания приема лекарств у членов семьи реализована ограниченно и не предполагает полноценного семейного доступа. Облачная синхронизация доступна только в платной версии.

Результаты сравнительного анализа мобильных приложений для управления лекарственными препаратами представлены в таблице 1. Проведённое сравнение показывает, что большинство существующих решений ориентировано на функции напоминания о приёме лекарств и ведения курсов лечения. При этом функции учёта сроков годности лекарственных препаратов и совместного управления домашней аптечкой реализованы ограниченно или отсутствуют. Таким образом, подтверждается актуальность разработки нового мобильного приложения, которое объединит необходимые функции, оставаясь при этом полностью бесплатным и удобным в использовании.

Таблица 1 – Сравнительный анализ мобильных приложений

Критерий	Medisafe	Mewdicare	Pills Time	Разрабатываемая система
Напоминания о приёме лекарств	✓	✓	✓	✓
Формирование курсов лечения	✓	✗	✓	✓
Календарь приёма лекарств	✓	✓	✓	✓
Учёт количества лекарств	✗	✗	✗	✓
Контроль сроков годности	✗	✗	✗	✓

Продолжение таблицы 1 – Сравнительный анализ мобильных приложений

Ведение заметок о состоянии здоровья	ограничено	✓	✗	✓
Совместное использование (семейный доступ)	ограничено	ограничено	✗	✓
Облачная синхронизация данных	✓	ограничено	ограничено	✓
Сканирование штрих-кода	✗	✗	✗	✓
Управление домашней аптечкой (инвентаризация)	✗	✗	✗	✓
Формирование отчетов о приеме	✓	ограничено	✗	✓

Разрабатываемая система представляет собой мобильное приложение для управления домашней аптечкой, построенное на основе кроссплатформенного фреймворка Flutter. Архитектура приложения основана на принципе модульности, что позволяет разделить функциональность системы на независимые компоненты и упростить её дальнейшее развитие. Такой подход облегчает поддержку программного продукта, повышает масштабируемость системы и позволяет добавлять новые функции без существенных изменений существующего кода [3].

В архитектуре системы выделяются два основных уровня: клиентский уровень и уровень бизнес-логики.

Клиентский уровень реализован в виде мобильного приложения, установленного на устройстве пользователя. Он обеспечивает взаимодействие пользователя с системой посредством графического интерфейса. Через данный уровень осуществляется просмотр списка лекарственных препаратов, управление домашней аптечкой, планирование курсов лечения и работа с календарём приёма лекарств. Интерфейс приложения разработан таким образом, чтобы обеспечить простоту использования и наглядное представление информации.

Уровень бизнес-логики отвечает за обработку данных и реализацию функциональности системы. На этом уровне выполняются операции добавления и редактирования информации о лекарственных препаратах, формирование расписания приёма лекарств, контроль сроков годности и управление курсами лечения. Кроме того, бизнес-логика обеспечивает взаимодействие приложения с облачной инфраструктурой с облачной инфраструктурой, которая используется для хранения данных, формирования и отправки уведомлений и синхронизации информации между пользователями.

Модульная структура бизнес-логики позволяет разделить систему на функциональные компоненты, каждый из которых отвечает за определённую область работы приложения [4]. К основным модулям относятся:

- модуль управления лекарственными препаратами;
- модуль календаря и расписания приёма;
- модуль курсов лечения;
- модуль семейного доступа.

Такое архитектурное решение обеспечивает гибкость системы и создаёт основу для дальнейшего расширения функциональности приложения, включая интеграцию с внешними базами данных лекарственных препаратов и автоматизацию добавления лекарств с использованием технологий сканирования штрих-кодов (рисунок 1).

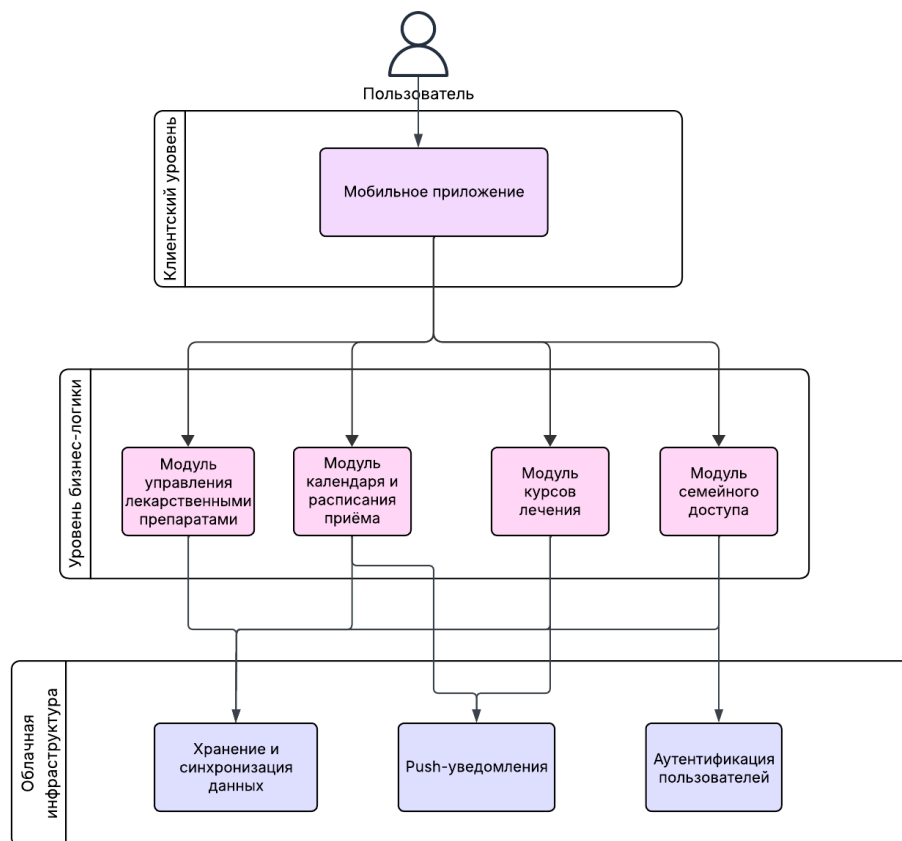


Рис. 1. Диаграмма компонентов разрабатываемой системы

В ходе работы проведён анализ предметной области и существующих мобильных приложений для управления лекарствами, который выявил отсутствие в большинстве из них функций учёта количества препаратов, контроля сроков годности и полноценного семейного доступа. Это обосновывает актуальность разработки нового решения. Предложена модульная архитектура приложения на базе Flutter, включающая клиентский уровень и уровень бизнес-логики с независимыми модулями. Такая архитектура обеспечивает масштабируемость и возможность дальнейшего расширения функциональности. Разработанная система позволяет закрыть выявленные недостатки аналогов и предоставить пользователям удобный инструмент для совместного управления домашней аптечкой.

Литература

[1]. Пилотный проект с электронными медрецептами запустили в Тюменской области [Электронные ресурсы]. URL: <https://национальныепроекты.рф/news/pilotnyy-proekt-s-elektronnymi-medretseptami-zapustili-v-tyumenskoy-oblasti/0> (дата обращения: 01.03.2026)

- [2]. Personalized Medical Service for Families Market 2026-2032 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.360iresearch.com/library/intelligence/personalized-medical-service-for-families> (дата обращения: 01.03.2026)
- [3]. Architecture recommendations and resources [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.flutter.dev/app-architecture/recommendations> (дата обращения: 03.03.2026).
- [4]. Modular Architecture in Flutter: A Quick Guide [Электронный ресурс]. URL: <https://mobikul.com/modular-architecture-in-flutter-a-quick-guide/> (дата обращения: 12.03.2026).

*Т.С. Иванцов, студ.; рук. А.С. Федулов, д.т.н., проф.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ВИБРОИСПЫТАНИЙ

Как известно, от многих современных видов техники требуется высокая устойчивость к воздействиям окружающей среды – температуре, влажности и вибрации. Соответственно, в ходе производства и разработки изделия необходимо тестировать на воздействие этих факторов.

Проверка продукции на воздействие вибраций производится с помощью вибрационных установок, общая структура которых показана на рисунке 1.

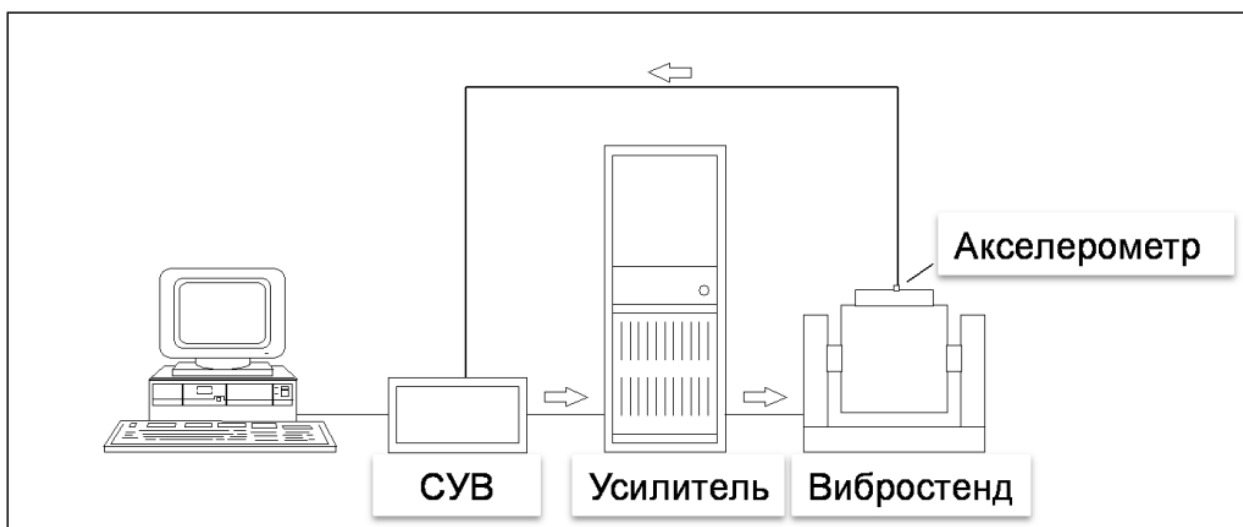


Рисунок 1 – Общая схема вибрационной установки

Установка состоит из:

- вибростенда, на который крепят объект и датчики – акселерометры;
- усилителя, основная задача которого – подвести необходимую мощность к стенду;
- системы управления вибрацией;
- компьютера со специальным программным обеспечением.

Основная задача системы управления вибрацией (СУВ) состоит в том, чтобы сигнал, получаемый с акселерометра, соответствовал заданию пользователя, а также в коррекции сигнала, подаваемого на усилитель.

С помощью компьютера пользователь устанавливает задания, управляет ходом испытания и получает результаты испытания: графики измерений, погрешности и другие характеристики.

После запуска испытания СУВ подает на стенд сигнал малого уровня, чтобы не повредить стенд в случае неисправности усилителя, затем постепенно его повышает до уровня, заданного пользователем. В ходе испытания СУВ изменяет сигнал, подаваемый через усилитель на объект таким образом, чтобы сигнал с акселерометра соответствовал заданию пользователя. Также система следит за правильностью хода испытания – проверяет, не превысили ли значения ускорения на стенде допустимые пределы.

Этап перехода от слабого сигнала к номинальному уровню, установленному программой испытаний, принято называть разгоном или выходом на рабочий режим. Зачастую процесс выхода на требуемый режим является наиболее критичной частью испытания ввиду следующих причин:

- при выходе на режим определяются АЧХ и ФЧХ системы стенд/усилитель/объект испытания. Если при определении характеристик системы произойдет ошибка, то возникает вероятность превышения уровня вибрационного воздействия над заданным и разрушение объекта испытаний;

- АЧХ и ФЧХ могут непредсказуемо меняться по мере роста нагрузки. В худшем сценарии такие изменения приводят к резонансным скачкам, способным вывести из строя не только объект, но и дорогостоящий вибростенд [1].

Несмотря на широкое применение виброиспытаний, в литературе отсутствует единый взгляд на механизмы формирования управляющего сигнала.

Исторически процесс разгона и вывода вибростенда на заданный режим осуществлялся оператором вручную. Контроль амплитуды проводился визуально с использованием осциллографа, а управление мощностью – путем ступенчатого изменения напряжения на входе усилителя. Данный подход не был безопасен по причине высокой инерционности и человеческого фактора. Субъективность оценки часто приводила к тому, что система проскакивала критические точки, что приводило к неконтролируемым резонансам. Это в свою очередь становилось причиной повреждения дорогостоящего оборудования [2].

С развитием цифровых систем управления вибрацией (СУВ) и алгоритмов цифровой обработки сигналов, задача формирования управляющего воздействия была полностью автоматизирована. Однако разнообразие динамических характеристик современных изделий и наличие выраженных нелинейностей в системе «стенд-оснастка-объект» исключают существование универсального алгоритма. Таким образом, возникла потребность в систематизации подходов к предварительному анализу системы [3].

Для выхода на требуемый уровень вибрационного воздействия, систему можно настроить несколькими способами. Основное различие между ними заключается в использовании данных, полученных в ходе проведения предварительного тестирования.

Методы без проведения предварительных испытаний:

- без обратной связи: формирование сигнала базируется на расчетных данных или априорных характеристиках системы без оперативной корректировки.

- с обратной связью: система управления корректирует выходной сигнал в реальном времени непосредственно в процессе выхода на режим (разгона), опираясь на данные с контрольных акселерометров.

Методы с проведением предварительных испытаний.

Данный метод подразумевает подачу тестового сигнала малого уровня для безопасной идентификации характеристик системы перед основным испытанием. В зависимости от типа тестового сигнала выделяют следующие подходы:

- (широкополосная случайная вибрация) (ШСВ): позволяет быстро получить АЧХ на всем рабочем диапазоне частот;

- синусоидальный сигнал: используется для точного анализа резонансных частот и более точного определения характеристик на конкретных участках спектра.

В динамической системе «усилитель – вибростенд – объект испытаний» фактические значения собственных частот могут отклоняться от расчетных на 10-40% и более.

Также при проведении испытания без предварительного виброиспытания при разгоне существует вероятность, что не будет учтено нелинейное поведение системы. Данная ошибка может привести возникновению непредвиденного резонанса, который в свою очередь может повлечь уничтожение виброционного стенда или разрушение тестируемого объекта.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости проведения предварительных виброционных испытаниях, обеспечивающих безопасное и контролируемое реальное виброиспытание.

Стандартные методы, используемые во многих современных системах управления, часто ограничиваются анализом одного канала управления (контрольной точки). Использование одной контрольной точки не может гарантировать всестороннего понимания динамических характеристик крупного объекта. В таких случаях локальные резонансы конструктивных элементов могут остаться незамеченными, поскольку их вклад в общую реакцию системы в контрольной точке ниже порога чувствительности алгоритма контроллера.

Для решения данной проблемы и повышения достоверности идентификации динамических характеристик была разработана интегрированная методика многоканального предварительного анализа.

Предлагаемый алгоритм проведения предварительного виброиспытания направлен на минимизацию рисков при выходе на режим и повышение точности идентификации динамических характеристик системы. В отличие от существующих коммерческих решений, ограничивающихся анализом по управляющему каналу, данная методика реализует параллельный расчет АЧХ по нескольким измерительным каналам, что позволяет учитывать пространственные формы колебаний объекта.

Методика включает следующие этапы:

1. Подготовка испытательного стенда и аппаратной части.

На данном этапе производится механическое крепление объекта испытаний на платформе вибростенда с помощью специализированной оснастки. Устанавливается система датчиков (акселерометров):

- контрольный датчик – в точке управления (на столе стенда или вблизи узла крепления);

- измерительные датчики – в критических точках объекта, где ожидаются максимальные динамические отклики или концентрация напряжений.

Производится связь датчиков с СУВ и проверка согласования усилителя мощности.

2. Определение начальных условий на основе априорных данных

Для безопасного пуска системы оператор задает начальный уровень напряжения возбуждения. Значение выбирается исходя из паспортных характеристик вибростенда, массы объекта и предварительных расчетов, чтобы амплитуда на первом шаге гарантированно не превышала 5–10% от номинальной.

3. Проведение предварительного виброиспытания и многоканальный анализ АЧХ.

Данный этап является ключевым для методики. На вибростенд подается тестовый сигнал (ШСВ или скользящий синус) малого уровня. В процессе выполнения предварительного виброиспытания система осуществляет:

Сбор данных со всех активных каналов в реальном времени.

Расчет передаточных функций (АЧХ) для каждого измерительного канала относительно управляющего сигнала.

Идентификацию резонансных частот и коэффициентов демпфирования по всей структуре объекта.

В отличие от известных методик, ориентированных на усредненный или одиночный сигнал обратной связи, предлагаемый подход позволяет формировать матрицы передаточных функций системы в режиме реального времени. Благодаря этому минимизируется шанс пропуска локальных резонансов, которые могут привести к разрушению элементов объекта, не находящихся в непосредственной близости к контрольному датчику.

4. Проверка данных и формирование отчетности

По завершении предварительного виброиспытания производится автоматическое сравнение полученных АЧХ с заданными допусками. Система формирует отчет, включающий в себя:

- графики спектральной плотности мощности (для ШСВ) или амплитуды (для синуса);

- таблицу идентифицированных резонансов;

- расчетную погрешность и прогноз поведения системы при переходе к номинальному уровню испытаний.

Предложенный метод выводит безопасность и информационную эффективность подготовки к вибрационным испытаниям на новый уровень. Его

основные научные и практические достижения заключаются в достижении всестороннего анализа динамического поведения объектов, выходящего за рамки упрощенного скалярного мониторинга, посредством генерации матрицы передаточной функции в реальном времени. Благодаря синхронному сбору данных с датчиков управления и измерения, система устраняет проблему недостаточной наблюдаемости в сложных конструкциях, обеспечивая обнаружение высокочастотных локальных резонансов, которые неизбежно упускаются из виду при использовании традиционных одноканальных методов.

Инициализация начального напряжения с использованием предварительных данных в сочетании с итеративным анализом при низких уровнях возбуждения (до 10% от номинального значения) минимизирует вероятность возникновения неконтролируемых переходных процессов и отказов оборудования. Наконец, автоматическая проверка полученной частотной характеристики и сравнение ее с заданными допусками позволяет не только подтвердить рабочее состояние системы в стандартном режиме, но и сделать надежные прогнозы устойчивости управления. Это превращает предварительные испытания из формальной фазы подготовки в полноценный инструмент диагностического мониторинга, обеспечивая тем самым безопасность дорогостоящей продукции и высокоточное воспроизведение вибрационных нагрузок.

Литература

- [1]. Harris C.M., Peedles R.D. Harris' Shock and Vibration Handbook. 7th ed. McGraw-Hill Education, 2020. – 1200 p.
- [2]. Кузнецов А. А. Вибрационные испытания элементов и устройств автоматики. – М.: Энергия, 1976. – 119 с..
- [3]. Bendat J.S., Piersol A.G. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. 4th ed. Wiley, 2010 (переизд. 2022).

*И.В. Исаев, студент; рук. В.В. Борисов, д.т.н. профессор.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К УСТРАНЕНИЮ НЕДОСТАТКОВ МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВЕ LSTM

Одним из направлений развития современных распределенных информационных систем является мультисервисный подход, в рамках которого происходит разделение функций системы между независимыми модулями. При этом управление взаимодействием микросервисов осуществляется с помощью оркестратора, поддерживающего логику общего процесса, отдельные этапы которого выполняют микросервисы. Конфигурируемые алгоритмы, обеспечивающие реализацию некоторой функции системы, где каждый шаг соответствует вызову конкретного микросервиса-обработчика, называются сценариями. Таким образом, основная функция оркестратора в рассматриваемом типе систем - выбор одного из предопределенных сценариев.

Анализ показывает, что в современных микросервисных архитектурах проявляется существенный недостаток, связанный с нарушением границ ответственности между оркестратором и сервисами. Вызван он тем, что бизнес-логика, которая по замыслу должна быть инкапсулирована внутри отдельных микросервисов, постепенно мигрирует в центральный оркестрирующий компонент. Изначально задуманный как легковесный координатор взаимодействия (рис. 1. А), выбирающий один из специализированных сценариев обработки информационных объектов, оркестратор по мере расширения области применения бизнес системы обрастает дополняется сложной бизнес-логикой, включающей правила маршрутизации, условные переходы и критерии, входящие в состав доменных сервисов (рис 2. А).

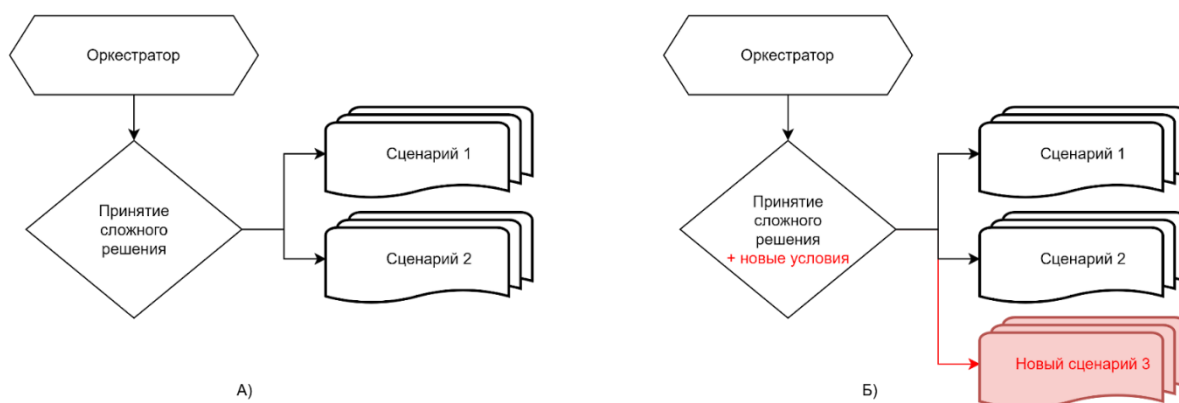


Рисунок 1. Система со специализированными сценариями

В результате оркестратор превращается в монолитный узел, тем самым нарушая ключевые принципы микросервисной архитектуры. Сервисы теряют автономность, часть сервисных процедур сливается с оркестратором. Это приводит к формированию, так называемого, «распределённого монолита» – архитектурного анти-паттерна [2], при котором сервисы физически разделены, но логически тесно связаны между собой, что сводит на нет преимущества декомпозиции. Централизованная оркестрация создаёт единую точку отказа и увеличивает задержки из-за необоснованно избыточного взаимодействия между оркестратором и функциональными сервисами [2, 3].

Указанный недостаток прогрессирует по мере развития системы и добавления новых типов документов и сценариев обработки. В результате любое изменение бизнес-процессов требует его модификации, что замедляет циклы разработки и увеличивает время вывода новых продуктов на рынок. Для решения указанной проблемы используется подход, при котором оркестратор управляет относительно небольшим количеством универсальных сценариев, обеспечивающих обработку широкого круга информационных объектов (рис. 2. А). Такой подход упрощает внедрение новых сценариев (рис. 2.Б), однако, универсальные сценарии содержат избыточные шаги для отдельных типов обрабатываемых объектов, что приводит к неоптимальному расходу ресурсов.

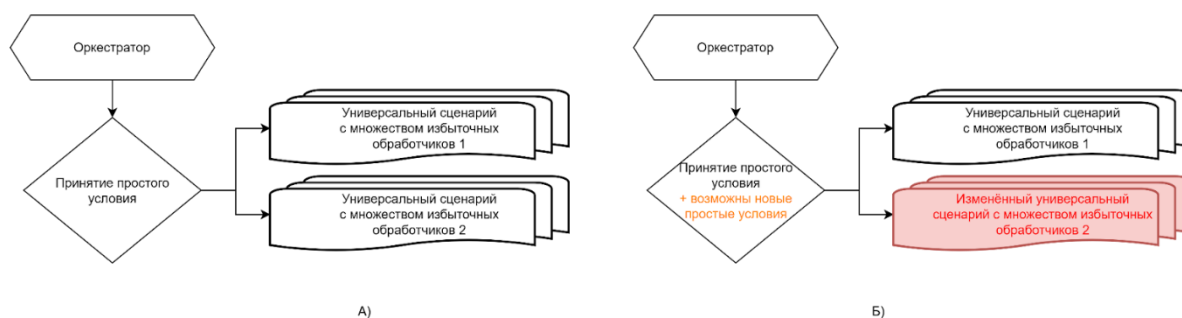


Рисунок 2. Система с универсальными сценариями

Очень важно, что в таких системах даже незначительные изменения бизнес-процессов (например, добавление нового критерия) требуют существенной переработки кода оркестратора и сценариев (рис. 1. Б, рис. 2. Б), с последующим тестированием и отладкой. Это усложняет оперативно реагировать на регуляторные или рыночные изменения в бизнес-процессах [1].

Финансовые организации оказываются перед сложным выбором: либо мириться с постоянно растущей сложностью оркестратора и замедлением темпов развития, либо предпринимать рискованный и затратный рефакторинг всей архитектуры. Отраслевые аналитики отмечают [2, 4], что поддержка систем с централизованной логикой оркестрации требует значительно больше усилий по сравнению с архитектурами, где бизнес-логика не выходит за грани доменных сервисов. Попытки полностью перейти к децентрализованной хореографии приводят к трудностям координации распределённых транзакций и обеспечения согласованности данных [3].

Как указано в [1], выбор между оркестрацией и хореографией – это компромисс между управляемостью и связанностью. Оркестрация уместна для сложных сценариев, только при условии, что оркестратор не содержит бизнес-логики сценариев и выполняет только координационные функции.

Для решения указанной проблемы разработан гибридный подход, сущность которого заключается в добавлении к легковесному оркестратору интеллектуального агента-советника (специализированного микросервиса, использующего методы машинного обучения для динамической оптимизации выбора сценария обработки) (рис. 3).

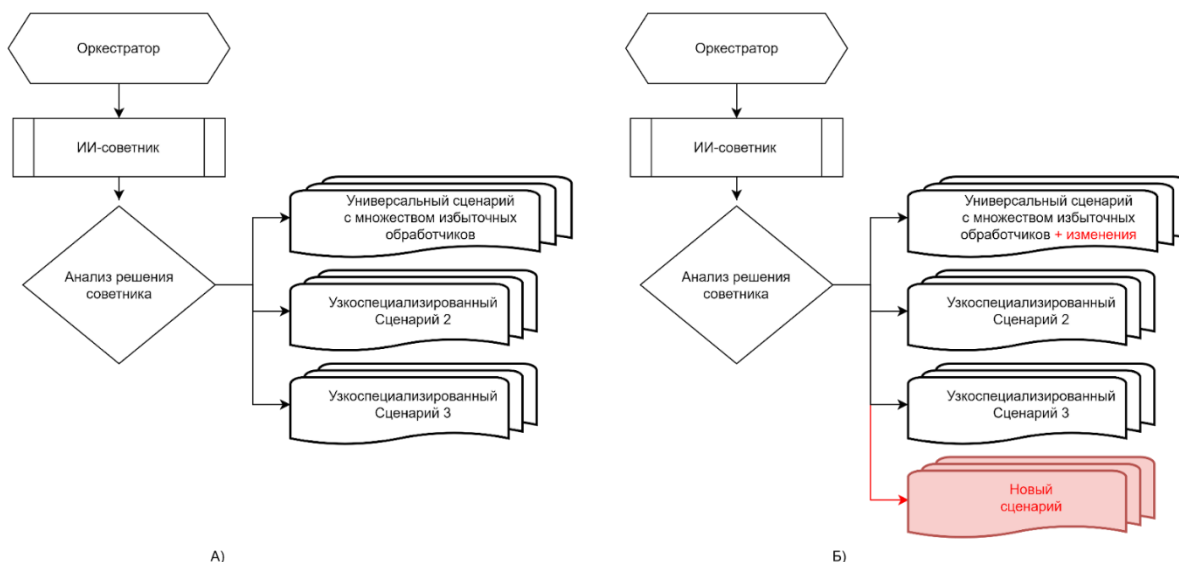


Рисунок 3. Выбор сценария с использованием гибридного подхода с агентом-советником на основе машинного обучения

В соответствии с предлагаемым подходом оркестратор сохраняет минимальную функциональность. Он последовательно запускает микросервисы в соответствии с выбранным сценарием и не содержит никакой бизнес-логики. Все сценарии обработки документов заранее разработаны и протестированы. Упрощённые сценарии формируются как подмножества универсального сценария, что гарантирует их корректность. Каждый из упрощенных сценариев имеет некоторый однозначный идентификатор, называемый индексом сценария.

Литература

1. **Newman, S.** *Building Microservices: Designing Fine-Grained Systems*. 2nd ed. - Sebastopol: O'Reilly Media, 2021. - 576 p. - ISBN 978-1-492-03402-5.
2. **Fowler, M.** *Microservice Architecture* // martinowler.com. - 2014. - URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html> (дата обращения: 04.10.2025).
3. **Richardson, C.** *Microservices Patterns: With Examples in Java*. - Shelter Island: Manning Publications, 2018. - 528 p. - ISBN 978-1-61729-454-9.
4. **NIST.** *NIST Special Publication 800-204: Security Strategies for Microservices-Based Application Systems* / K. Scarfone et al. - Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2020. - 68 p. - URL: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/SpecialPublications/NIST.SP.800-204.pdf> (дата обращения: 04.10.2025).
5. **Microsoft Azure.** *Reliability and fallback patterns in cloud applications* // Microsoft Docs. -2024. -URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/patterns/fallback> (дата обращения: 04.10.2025).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ ПОДХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-ПЛАТФОРМ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТА

Под веб-платформой в контексте данного исследования понимается комплекс программно-аппаратных средств, предоставляющий пользователям доступ к функциональным возможностям через интерфейсы веб-браузера и обеспечивающий выполнение прикладных задач на серверной стороне. Классификация архитектурных типов веб-платформ может быть проведена по способу организации взаимодействия компонентов. Традиционно выделяют три основных архитектурных типа: монолитную архитектуру, микросервисную архитектуру и клиент-серверную модель как базовый паттерн взаимодействия [1].

Специфика платформ, ориентированных на работу с визуальным контентом, предъявляет повышенные требования к подсистеме хранения данных. В теории проектирования информационных систем принято выделять три основные модели хранения файлов: хранение в файловой системе сервера с размещением метаданных в базе данных; хранение в базе данных в формате BLOB (Binary Large Object); объектное хранение с использованием облачных хранилищ (Cloud Storage). Каждая из моделей характеризуется определенным соотношением скорости доступа, транзакционной целостности и стоимости эксплуатации.

Предполагается, что для веб-платформы, ориентированной на публикацию визуального контента (фотогалерей) с умеренной нагрузкой на начальном этапе эксплуатации, оптимальным технологическим решением является комбинация монолитной архитектуры, фреймворка Django и хранения медиафайлов в файловой системе сервера. Данный стек обеспечивает минимальное время выхода продукта при сохранении требуемого уровня безопасности, функциональной полноты и производительности, тогда как применение микросервисной архитектуры или объектного хранения на этом этапе приведет к неоправданному усложнению разработки и росту операционных затрат без существенного выигрыша в масштабируемости.

Для реализации серверной части веб-платформ на языке Python наиболее репрезентативными являются три фреймворка: Django, Flask и FastAPI. Их сравнительный анализ целесообразно проводить с использованием методологии FURPS (Functionality, Usability, Reliability, Performance, Supportability), позволяющей оценить программное обеспечение по пяти ключевым категориям.

Результаты сравнительного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – FURPS-анализ серверных фреймворков

Критерий	Django	Flask	FastAPI
Функциональность	Высокая. Встроенная админка, ORM, аутентификация, формы	Низкая. Требуется ручная интеграция компонентов	Средняя. Оптимален для API, но требует шаблонизатор для SSR
Практичность	Высокая. Интуитивная структура, богатая документация	Средняя. Требуется понимание интеграции	Высокая. Автодокументация, подсказки типов
Надежность	Высокая. Зрелый фреймворк с большим сообществом	Средняя. Зависит от качества расширений	Высокая. Современные подходы к обработке ошибок
Производительность	Достаточная для типовых задач	Достаточная	Высокая (асинхронность)
Поддерживаемость	Высокая. Стандартизированная структура	Низкая (риск «спагетти-кода»)	Высокая (типизация, автодокументация)

Django является одним из наиболее популярных веб-фреймворков для Python, что объясняется его архитектурой, ориентированной на быструю разработку, и обширной экосистемой [2]. Flask, напротив, предоставляет минималистичный набор инструментов, позволяя разработчику самостоятельно выбирать компоненты, что способствует более глубокому пониманию принципов работы веб-приложений [3]. FastAPI, благодаря встроенной поддержке асинхронного программирования и автоматической валидации данных, позиционируется как оптимальное решение для создания высоконагруженных API и микросервисов [4].

Для сравнительного анализа архитектурных подходов были определены критерии, вытекающие из требований к платформам для визуального контента: функциональная полнота, временные затраты на разработку, производительность, безопасность и масштабируемость. Результаты сравнения монолитной и микросервисной архитектур представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ архитектурных подходов

Критерий	Монолитная архитектура	Микросервисная архитектура
Функциональная полнота	Полная. Все модули в одном проекте.	Полная, но требует координации между сервисами.
Срок разработки	Низкий. Единая кодовая база, простая отладка.	Высокий. Требуется проектирование взаимодействия.
Производительность	Достаточно 2 ядер и 2 ГБ ОЗУ.	Требуется больше ресурсов на оркестрацию.
Безопасность	Высокая. Единый контур безопасности.	Средняя. Увеличивается поверхность атаки.

Продолжение таблицы 2 – Сравнительный анализ архитектурных подходов

Критерий	Монолитная архитектура	Микросервисная архитектура
Масштабируемость	Ограниченная (масштабирование целиком).	Высокая (независимое масштабирование)
Сложность реализации	Низкая	Высокая

Выбор метода хранения файлов критически влияет на производительность и надёжность платформы. Сравнительный анализ методов хранения представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение методов хранения файлов

Критерий	Файловая система	База данных (BLOB)	Облачное хранилище
Скорость доступа	Высокая	Низкая	Средняя
Резервное копирование	Средняя сложность	Низкая сложность	Высокая сложность
Ограничение на файл	До 25 МБ – допустимо	Риск деградации	Без ограничений
Транзакционная целостность	Низкая	Высокая	Средняя
Стоимость эксплуатации	Низкая	Средняя	Высокая

Установлено, что хранение в файловой системе является оптимальным для начального этапа эксплуатации и для проектов с умеренной нагрузкой, обеспечивая высокую скорость доступа при минимальных затратах на инфраструктуру. Объектное хранение представляет интерес с точки зрения масштабируемости, но вносит зависимость от внешнего провайдера и увеличивает операционные расходы.

Сопоставление таблиц 2 и 3 позволяет сказать, что если на начальном этапе приоритетными являются скорость разработки и низкая стоимость эксплуатации, то комбинация монолитной архитектуры и файлового хранения должна обеспечить требуемые характеристики, тогда как альтернативные решения (микросервисы или облачное хранение) приведут к неоправданному усложнению системы.

На основе проведенного анализа можно сказать, что выбранный технологический стек для реализации веб-платформы, ориентированной на публикацию фотогалерей, хорошо подходит для веб-платформ такого формата. Применение монолитной архитектуры на начальном этапе разработки позволяет минимизировать время выхода продукта и упростить развертывание. Использование Django в качестве базового фреймворка обеспечивает высокую функциональность и безопасность благодаря встроенным механизмам (защита от CSRF, система аутентификации, ORM). Выбор файловой системы в качестве основного хранилища медиафайлов с размещением метаданных в реляционной базе данных (например, MySQL) представляет собой компромиссное решение,

обеспечивающее достаточную производительность и простоту резервного копирования.

Важным аспектом является обеспечение безопасности при работе с пользовательским контентом. Для предотвращения атак, связанных с загрузкой вредоносных файлов, необходимо устанавливать соответствующие HTTP-заголовки, такие как X-Content-Type-Options: nosniff (предотвращает MIME-сниффинг) и Content-Disposition: attachment (принуждает к загрузке, а не к рендерингу браузером) [5]. Механизм доступа к галереям по уникальной ссылке (share-key) с использованием UUID является эффективным методом авторизации для временного доступа, минимизирующим порог входа для клиента.

Выдвинутая гипотеза получила подтверждение в ходе проведенного анализа. Сравнение архитектурных подходов (таблица 2) показало, что монолитная архитектура действительно обеспечивает меньшие сроки разработки и низкую сложность реализации, что критично для старта проекта. Анализ фреймворков по методологии FURPS (таблица 1) выявил, что Django, уступая FastAPI в производительности, превосходит альтернативы по функциональной полноте и безопасности благодаря встроенным механизмам, что соответствует требованию защищенности пользовательского контента. Сравнение методов хранения (таблица 3) подтвердило, что файловая система является оптимальным компромиссом: при допустимых ограничениях на размер файла (до 25 МБ) она обеспечивает высокую скорость доступа и низкую стоимость эксплуатации, тогда как применение облачного хранилища на начальном этапе привело бы к необоснованному росту операционных расходов. Таким образом, предложенный технологический стек полностью соответствует критериям, заложенным в гипотезе, и может быть рекомендован для реализации веб-платформ фотогалерей с умеренной нагрузкой.

Литература

- [1]. Худницкий А.В., Шауро Е.А. Сравнительный анализ Fastapi, Django и Flask: производительность, удобство разработки и выбор оптимального фреймворка для современных веб-приложений // Компьютерные системы и сети: материалы 61-й научной конференции БГУИР. – Минск, 2025. – С. 412–415.
- [2]. Форсье Д., Биссекс П., Чан У. Django. Разработка веб-приложений на Python. – СПб.: Символ-Плюс, 2010. – 456 с.
- [3]. Сравнение различных Python веб-фреймворков (Django, Flask, FastAPI) [Электронный ресурс] // [PHP.cn](https://global.php.cn/). – 2025. – URL: <https://global.php.cn/> (дата обращения: 01.03.2026).
- [4]. Dworken D. Безопасное размещение пользовательских данных в современных веб-приложениях [Электронный ресурс] // [web.dev](https://web.dev/articles/securely-hosting-user-data). – 2023. – URL: <https://web.dev/articles/securely-hosting-user-data> (дата обращения: 01.03.2026).
- [5]. Дронов В.А. Django: примеры проектов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 416 с.

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Шаговые двигатели (ШД) представляют собой разновидность бесколлекторных машин постоянного тока. На рис. 1 приведено типовое устройство такого двигателя. В технической литературе их иногда ошибочно классифицируют как многофазные (обычно двухфазные). Однако это не совсем верно. Действительно, существует особый режим управления, который, как будет показано далее, можно с некоторой долей условности назвать фазовым. Тем не менее, это принципиально отличается от «фазовости» двигателей переменного тока, и не позволяет применять этот термин к шаговому двигателю в общем контексте.

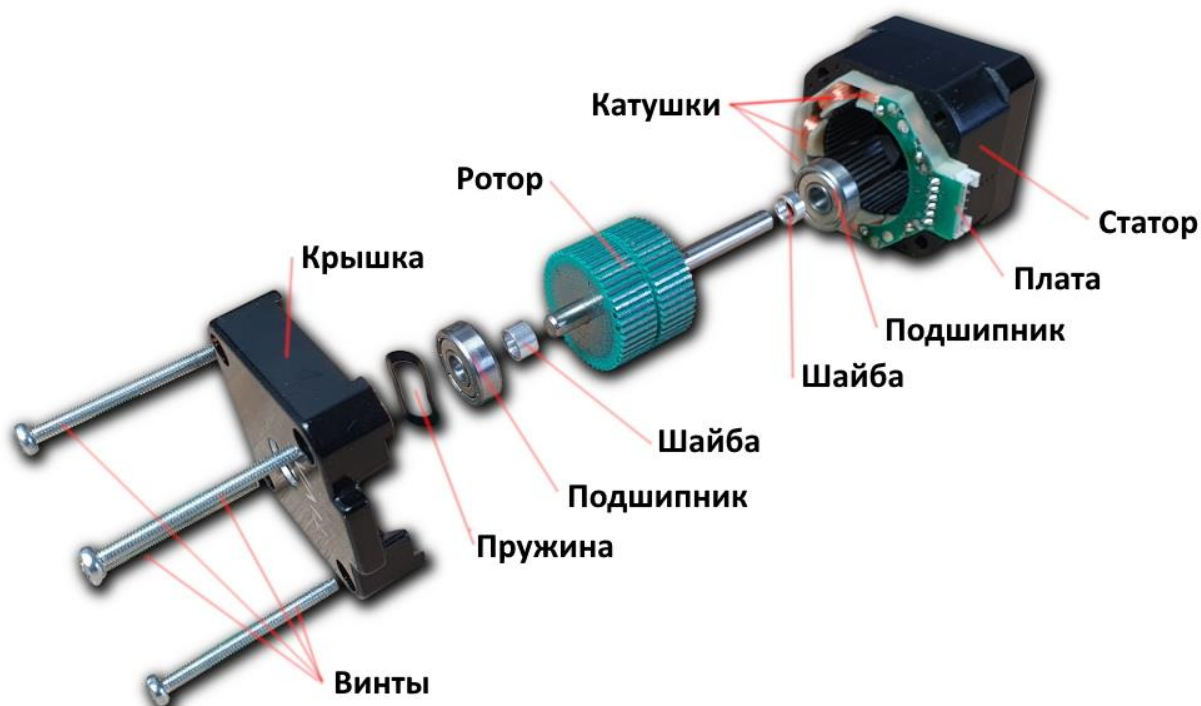


Рисунок 1 – Строение биполярного гибридного шагового двигателя

Привлекательность шаговых двигателей для разработчиков объясняется их исключительной надежностью и практически полным отсутствием электромагнитных и радиопомех, что недостижимо для многих других типов двигателей. Ключевая причина этих преимуществ – отсутствие подвижных токосъемных контактов (коллектора), которые в коллекторных двигателях генерируют помехи. Тем не менее, отсутствие коллектора, отвечающего за переключение тока в обмотках для создания вращения, требует использования внешнего драйвера. Как говорится, за все хорошее приходится платить

На рис. 2 показаны различные принципы управления ШД. Особенность представленных графиков в том, что они отображают форму тока в обмотках, а не напряжения, как это часто встречается в литературе или интернет-источниках.

Такой подход принципиально важен, поскольку именно ток определяет электромагнитный момент, тогда как форма напряжения на обмотках может быть прямоугольной и не отражает реальных процессов [2].

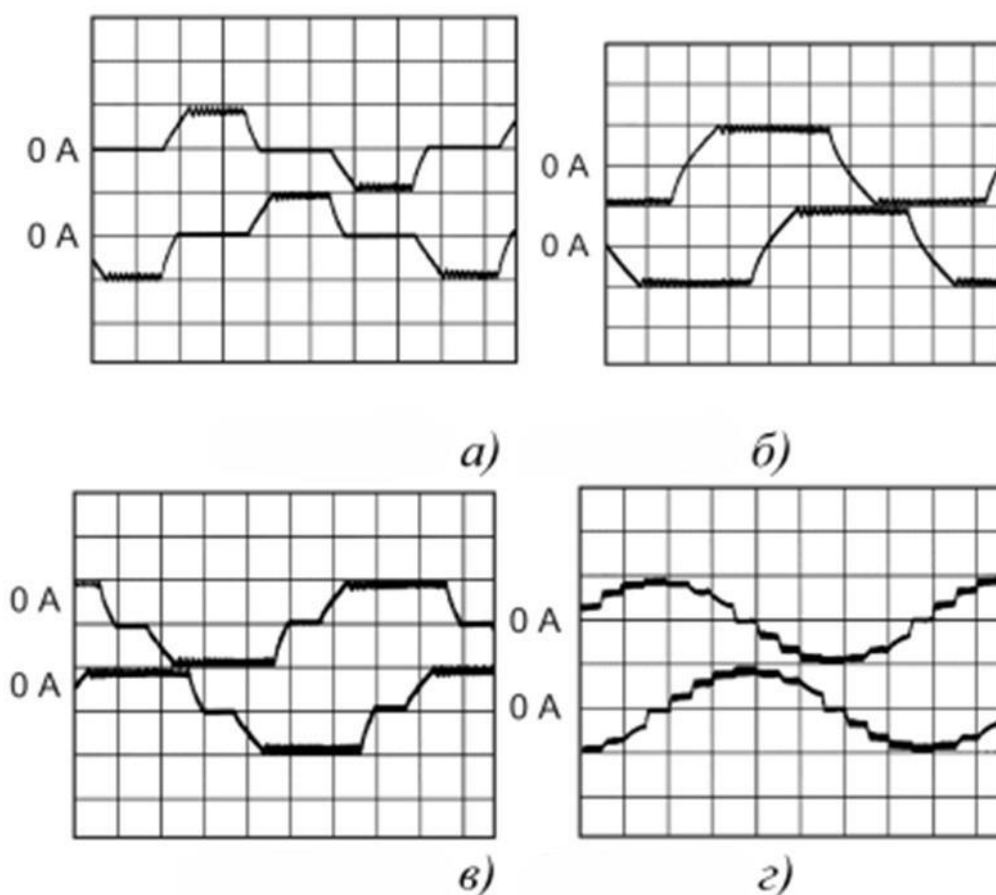


Рисунок 2 – Формирование тока в обмотках шагового двигателя при различных способах управления

Рассмотрим базовые способы управления, представленные на рис. 2. Первый, наиболее простой в реализации, – поочерёдное включение фаз без их одновременной активации (рис. 2, а). В каждый момент возбуждена только одна обмотка. Этот метод известен как «волновой» или «полношаговый с одной фазой». В таком режиме положения устойчивого равновесия ротора совпадают с его естественными положениями в обесточенном состоянии. Недостаток – неполное использование обмоток: для биполярных двигателей задействовано только 50% обмоток, для униполярных – 25%. Это ограничивает крутящий момент.

Более распространён способ с одновременным возбуждением обеих фаз (рис. 2, б) – его часто называют полношаговым с перекрытием фаз. Ротор фиксируется в промежуточных положениях между зубцами статора, что позволяет увеличить вращающий момент примерно на 40% по сравнению с волновым режимом. Угловое перемещение за шаг остаётся тем же, но точка равновесия смещается на половину шага. Для двигателей с большим углом шага

(например, 18°) это смещение может быть значимым – при отключении питания возможен поворот на 9° . Для удержания ротора в заданном положении часто применяют ток удержания, что исключает необходимость в механических тормозах.

Следующий способ – полушаговый режим (рис. 2, в), представляющий собой чередование однофазного и двухфазного возбуждения. Он обеспечивает перемещение на половину основного шага (например, $0,9^\circ$ вместо $1,8^\circ$). Такое управление требует более сложной коммутации, но повышает точность позиционирования и снижает влияние механического резонанса.

Наиболее сложным, но и наиболее точным является микрошаговый режим (рис. 2, г), при котором ток в обмотках изменяется плавно, формируя множество промежуточных положений ротора. Для его реализации необходимы специализированные драйверы со встроенными цифро-аналоговыми преобразователями и микропроцессорное управление. Именно этот метод иногда ошибочно принимают за работу многофазного двигателя переменного тока.

Для реализации перечисленных режимов на практике широко применяются готовые драйверы на специализированных микросхемах. Пример такого устройства – DM556 (рис. 3). Драйвер выполняет коммутацию обмоток в соответствии с заданным алгоритмом и режимом, которые устанавливаются программой управляющего микроконтроллера.

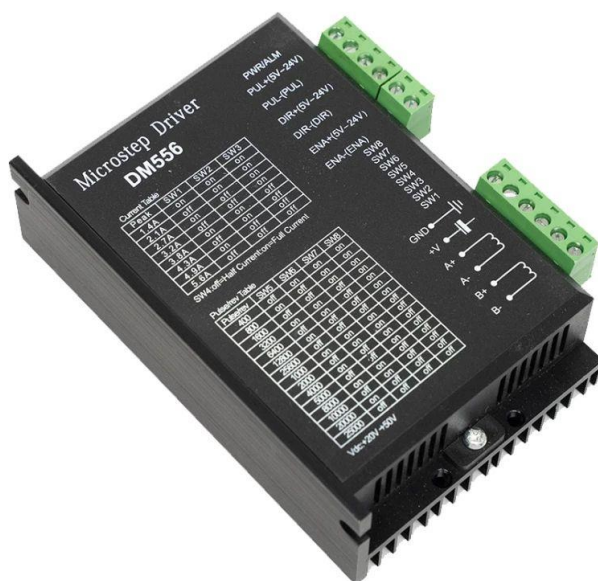


Рисунок 3 – Внешний вид и применение драйвера шагового двигателя DM556

Драйвер шагового двигателя выполняет функции коммутации токов в обмотках в соответствии с заданным алгоритмом и режимом, которые задаются программой работы управляющего микроконтроллера.

Литература

[1] Рентюк, В. Шаговые двигатели и особенности их применения // Электрик. – 2012. – № 11. – С. 45–50. URL: <https://yadi.sk/d/kZzJlwnBAQJGK> (дата обращения 12.03.2026).

*А.С. Киселев, студ.; рук. А.И. Фомин, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье рассматриваются проблемы выбора программно-аппаратных решений при модернизации и создании локальной вычислительной сети (ЛВС) предприятия с позиции обеспечения информационной безопасности.

Автором выполнено и дается описание результатов сопоставления действующих и предлагаемых решений по критериям функциональной роли, требуемой производительности и применению в защищенной автоматизированной информационной системе (АИС) предприятия. Отдельно раскрыты проблемы отсутствия специализированных средств защиты от распределенных атак на внешнем контуре системы. Особое внимание уделено сохранению функций рабочих мест, серверных ролей и доменной структуры. Результаты исследования направлены на выбор аппаратно-программных решений модернизации ЛВС предприятия, обеспечивающих обеспечение требований централизованного ведения баз данных, а также управления защищенным сетевым обменом и обработкой данных в системе.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, безопасность, коммутатор, локальная вычислительная сеть, модернизация, сервер, целостность данных, IP-телефония, VPN-тоннелирование.

Вопрос модернизации программно-аппаратной инфраструктуры предприятия в настоящее время связан не только с обновлением оборудования и программного обеспечения, но и с необходимостью обеспечить устойчивость, управляемость и технологическую независимость информационной среды на базе АИС предприятия. Для системы, в которой обрабатываются бухгалтерские, кадровые, технологические и конструкторские данные, замена ключевых компонентов должна быть обоснована с сохранением всех основных функций при условии обеспечения требуемой информационной безопасности.

Однако существующие решения инфраструктуры предприятия на базе существующих решений ЛВС не соответствуют требованиям по функциональности и информационной безопасности, что обуславливает необходимость их модернизации.

Анализ аппаратно-программных решений создания защищенных ЛВС.

Информационная система рассматриваемого предприятия включает восемь серверов и автоматизированные рабочие места. Действующая инфраструктура построена преимущественно с использованием зарубежных аппаратных и программных средств, поэтому модернизация заключается в

замене ключевых компонентов на сопоставимые решения без изменения рабочих процессов предприятия.

В процессе исследований выполнено сопоставление действующих и предлагаемых решений по критериям функциональной роли, требуемой производительности, централизованного администрирования, резервирования и применению в защищенной инфраструктуре. Результаты сравнения представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнение действующих и предлагаемых аппаратных и программных решений построения ЛВС

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Коммутация доступа	4 коммутатора Cisco WS-C3550-12T	4 коммутатора Eltex MES2324	Сохраняются коммутация и VLAN; есть резерв портов
Пограничный узел	Cisco RVS4000	Континент 4 IPC-R550	Сохраняется пограничный узел; усиливаются функции МЭ и VPN
Рабочие станции	Windows 10 на 97 АРМ	Astra Linux Desktop SE	Сохраняются офисные и прикладные задачи на АРМ
Серверная ОС	Windows Server 2019 на 8 серверах	Astra Linux Server	Серверные роли сохраняются при унификации ОС
Служба каталога	Microsoft Active Directory	ALD Pro	Сохраняется централизованное управление доменом
СУБД	Microsoft SQL Server 2019	PostgreSQL	Сохраняются реляционная БД и многопользовательская работа

Как видно из таблицы 1, замена коммутаторов Cisco WS-C3550-12T на Eltex MES2324 и пограничного устройства Cisco RVS4000 на Континент 4 IPC-R550 позволяет сохранить функции коммутации, сегментации сети и пограничной защиты, а также усилить защитные возможности внешнего контура.

Таблица 2 – Сравнение сетевого оборудования и пограничной защиты

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Роль в сети	Cisco обеспечивает подключение АРМ и серверов; внешний контур обслуживается отдельно	MES2324 выполняют коммутацию доступа; Континент 4 – функции пограничного узла	Архитектурная роль не утрачивается
Сегментация и управление трафиком	Используются базовые средства коммутации и маршрутизации	Поддерживаются VLAN, QoS, multicast и ограничение скорости	Функции не ниже
Интерфейсный резерв и масштабирование	Схема покрывает текущий парк оборудования	24 электрических порта и 4 uplink-порта на коммутатор	Есть запас развития

Продолжение таблицы 2 – Сравнение сетевого оборудования и пограничной защиты

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Защита периметра	Внешний контур построен на сетевом устройстве с базовыми защитными функциями	Континент 4, поддерживает МЭ, UTM, VPN и обнаружение вторжений	Защитные функции выше
Зависимость от производителя	Критические сетевые роли зависят от зарубежных поставщиков	Ключевые роли переводятся на отечественные решения	Риски зависимости снижаются

На следующем этапе сопоставлены операционные системы рабочих мест, серверная ОС и служба каталога. Существенным условием при выборе платформы является сохранение совместимости, централизованного управления пользователями и устойчивой работы основных сервисов. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение платформенного уровня

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Рабочие места	Windows 10, используется на АРМ для офисной и прикладной работы	Astra Linux Desktop SE поддерживает типовые пользовательские задачи	Функции АРМ сохраняются
Серверная ОС	8 серверов работают под Windows Server 2019	Серверные роли переносятся на Astra Linux Server без смены аппаратной базы	Серверные роли сохраняются при унификации ОС
Аппаратная база	Используются серверы HPE ProLiant ML350 Gen10	Переход на Astra Linux Server выполняется без смены серверной платформы HPE ProLiant ML350 Gen10	Аппаратная база сохраняется
Централизованное администрирование	Учетные записи и компьютеры управляются через Active Directory	ALD Pro поддерживает домен, учетные записи и политики	Административная функция сохраняется
Защитные механизмы	Защита обеспечивается сочетанием ОС и внешних средств	Используется отечественная платформа и совместимые средства защиты	Уровень защищенности не снижается

Для серверных служб сопоставлены почтовый обмен, СУБД, телефония и прикладные подсистемы. Оценка выполнена по критерию сохранения их функциональной роли в инфраструктуре предприятия и возможности

дальнейшей эксплуатации без изменения назначения сервисов. Результаты сравнения в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение серверных служб и прикладных подсистем

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Домен и учетные записи	Active Directory на сервере контроллера домена	ALD Pro на Astra Linux Server	Сохраняются учетные записи, доменная структура и администрирование
Почтовый обмен	Почтовый сервер с ПО Postfix	Связка Exim + Dovecot с доменной аутентификацией	Сохраняются передача сообщений и доступ к почтовым ящикам
Хранение и обработка данных	Microsoft SQL Server 2019	PostgreSQL	Сохраняются таблицы, многопользовательский доступ и администрирование БД
IP-телефония	Asterisk	MetPBX	Сохраняется роль серверной IP-АТС
Бизнес- и инженерные приложения	1С: Предприятие 8.2 и инженерное ПО на Windows-платформе	1С: Предприятие сохраняется; несовместимые компоненты могут работать в изолированной виртуальной среде	Функции подсистем сохраняются
Резервирование критичных узлов	Резервные серверы используются для ключевых сервисов	Резервирование сохраняется и дополняется средствами копирования	Отказоустойчивость сохраняется

Проведенное сопоставление показывает, что модернизация сохраняет состав ключевых сервисов и не приводит к потере эксплуатационно значимых функций. Для сетевого сегмента сохраняются коммутация, VLAN, маршрутизация трафика и контроль внешних соединений, а на платформенном уровне обеспечиваются централизованное администрирование и работа основных серверных служб.

Сводная оценка ожидаемых изменений приведена в таблице 5. Она позволяет обобщенно показать эксплуатационный эффект модернизации без изменения целевого назначения инфраструктуры предприятия.

Таблица 5 – Ожидаемый эксплуатационный эффект модернизации

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Администрирование	Разнородный набор зарубежных платформ и сервисов	Более унифицированная среда на базе Astra Linux и ALD Pro	Сопровождение упрощается

Продолжение таблицы 5 – Ожидаемый эксплуатационный эффект модернизации

Критерий	Действующее решение	Предлагаемое решение	Результат модернизации
Администрирование	Разнородный набор зарубежных платформ и сервисов	Более унифицированная среда на базе Astra Linux и ALD Pro	Сопровождение упрощается
Защита периметра	Сетевой узел с базовыми функциями защиты	Используется отечественный МЭ с VPN и контролем трафика	Повышается качество защиты
Масштабирование	Расширение связано с неоднородной схемой и зарубежными поставками	Коммутаторы и доменная среда имеют запас развития	Развитие сети упрощается
Устойчивость к отказам	Резервирование выполнено по отдельным критичным узлам	Резервирование сохраняется в целевой архитектуре	Риски восстановления снижаются

Таким образом, предлагаемые проектные решения не только не уступают действующим по основным эксплуатационным критериям. Результаты сравнения показывают, что при модернизации сохраняются функции рабочих мест, серверных ролей, доменной структуры, баз данных, почтового обмена и IP-телефонии. При этом переход на более унифицированную платформу упрощает сопровождение инфраструктуры, создает запас для дальнейшего развития сети и снижает зависимость от зарубежных поставщиков.

Для предприятия это означает возможность поэтапного обновления программно-аппаратной среды без утраты прикладной функциональности и без изменения назначения ключевых сервисов. По ряду позиций модернизация также обеспечивает более полное соответствие требованиям информационной безопасности.

Литература

- [1]. Cisco Catalyst 3550 Series Switches [Электронный ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/dam/global/ko_kr/products/pc/switches/3550/preso-c3550-public.pdf (дата обращения: 11.03.2026).
- [2]. Cisco RVS4000 4-Port Gigabit Security Router with VPN. Quick Start Guide [Электронный ресурс]. URL: https://www.cisco.com/c/dam/global/pt_pt/assets/docs/RVS4000_manual.pdf (дата обращения: 11.03.2026).
- [3]. Eltex. Ethernet-коммутаторы доступа и агрегации MES. Datasheet 4.0.26 [Электронный ресурс]. URL: https://api.prod.eltex-co.ru/storage/upload_center/files/51/MES23xx_datasheet_4.0.26_en.pdf (дата обращения: 11.03.2026).
- [4]. Континент 4 IPC-R550 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.securitycode.ru/products/kontinent-4/> (дата обращения: 11.03.2026).
- [5]. HPE ProLiant ML350 Gen10 QuickSpecs [Электронный ресурс]. URL: <https://www.hpe.com/psnow/doc/a00021852enw> (дата обращения: 12.03.2026).

- [6]. ALD Pro - Astra Domain [Электронный ресурс]. URL: <https://wiki.astralinux.ru/kb/ald-pro-astra-domain-190915523.html> (дата обращения: 12.03.2026).
- [7]. Официальный сайт Федеральной службы по техническому и экспортному контролю (ФСТЭК России) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fstec.ru/> (дата обращения: 13.03.2026).
- [9]. Официальный сайт компании «Код Безопасности» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.securitycode.ru/> (дата обращения: 13.03.2026).

*К.С. Ключев, студ.; рук. С.А. Федулова, ст. пр.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИГРОКА С ОБЪЕКТАМИ В 3D-СРЕДЕ

Современные трёхмерные игровые приложения представляют собой сложные программные системы, включающие графическую визуализацию, физическое моделирование, обработку пользовательского ввода и механизмы взаимодействия с игровым окружением [1]. Одной из ключевых задач является обеспечение естественного и интуитивного взаимодействия пользователя с объектами сцены. В большинстве современных игр применяется контекстно-зависимый подход, при котором одно и то же действие пользователя приводит к различным результатам в зависимости от текущего контекста [2].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью создания универсального алгоритма взаимодействия, способного корректно функционировать в режиме реального времени, учитывать динамические условия игровой среды и обеспечивать расширяемость системы.

Пусть задано множество объектов $O = \{o_1, o_2, \dots, o_n\}$, множество состояний игрока S и множество контекстных условий C . Тогда процесс взаимодействия может быть представлен в виде отображения

$f: (O \times S \times C) \rightarrow A$, где A – множество возможных действий.

Контекст взаимодействия определяется параметрами $C = (d, v, p)$, где d – расстояние до объекта, v – вектор направления взгляда игрока, p – состояние игрока.

Условие возможности взаимодействия задаётся следующим образом:

$I(o) = 1$, если $d \leq d_{max} \wedge \cos(\theta) \geq \alpha \wedge cond(p)$, где θ – угол между направлением взгляда и объектом, α – порог допустимого отклонения, $cond(p)$ – логическое условие, определяемое состоянием игрока.

В отличие от базовых подходов, в которых взаимодействие определяется только фактом пересечения луча с объектом, в данной работе предложено использование функции приоритизации взаимодействия. Введём функцию оценки: $P(o) = w_1 \cdot \frac{1}{d} + w_2 \cdot \cos(\theta) + w_3 \cdot s(o)$, где d – расстояние до объекта, θ – угол между направлением взгляда игрока и объектом, $s(o)$ – коэффициент важности объекта, w_i – весовые коэффициенты.

Данная функция позволяет выбирать наиболее релевантный объект взаимодействия в ситуациях, когда в зоне действия игрока находится несколько объектов одновременно. Использование такой модели повышает точность

выбора объекта и улучшает пользовательский опыт по сравнению с традиционными методами [2].

Алгоритм включает следующие этапы: определение объекта перед игроком с использованием лучевого запроса, проверка расстояния до объекта, анализ условий взаимодействия, вычисление функции приоритета, выбор наиболее подходящего объекта и выполнение соответствующего действия с последующим обновлением состояния сцены. Такой подход обеспечивает универсальный механизм обработки различных типов объектов.

Блок-схема алгоритма представлена на рис 1.

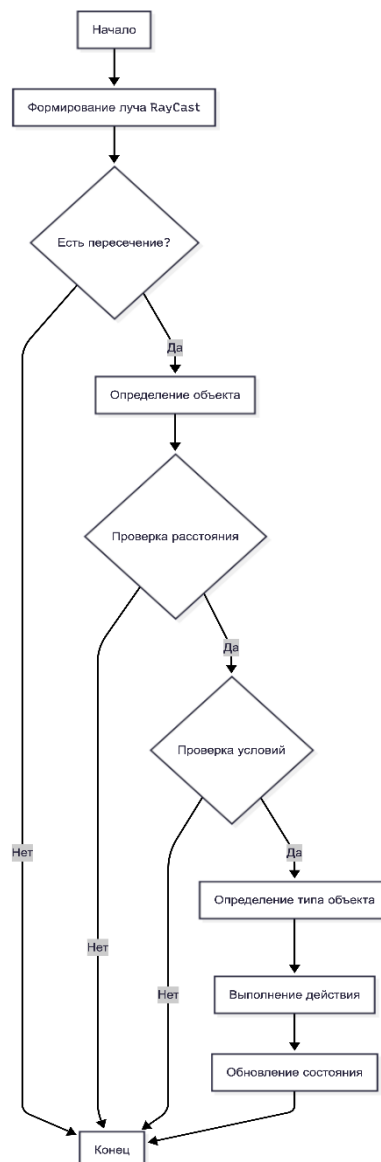


Рис. 1. Блок-схема алгоритма контекстно-зависимого взаимодействия игрока с объектами

Практическая реализация алгоритма выполнена в игровом движке Godot [3]. Для определения объекта используется лучевой запрос, позволяющий определить пересечение направления взгляда игрока с объектом сцены. После обнаружения объекта производится проверка условий взаимодействия, включая

расстояние, доступность и состояние игрока. В случае наличия нескольких объектов в зоне взаимодействия применяется функция приоритизации, обеспечивающая выбор наиболее релевантного объекта. Пример реализации алгоритма представлен на рисунке 2.

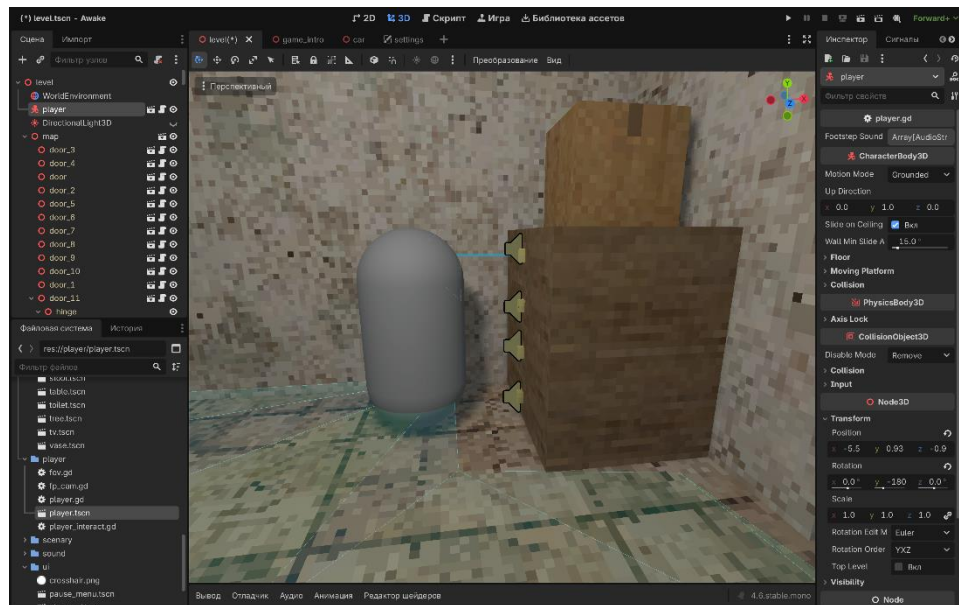


Рис. 2. Пример реализации алгоритма взаимодействия в движке Godot

В зависимости от типа объекта выполняется соответствующее действие, например открытие двери, активация переключателя или подбор предмета. Важной особенностью предложенного подхода является разделение логики: игрок инициирует взаимодействие, а конкретная реакция определяется самим объектом. Это обеспечивает модульность системы и облегчает её расширение.

С точки зрения вычислительной сложности алгоритм выполняется за константное время: $T(n) = O(1)$, что позволяет использовать его в системах реального времени без влияния на производительность [4].

Алгоритм был протестирован в рамках разработки трёхмерной видеоигры на движке Godot, где реализованы взаимодействия с дверями, предметами и переключателями. Результаты показали корректную работу системы, отсутствие задержек и возможность масштабирования.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке интерактивных систем и игровых приложений различной сложности.

Разработан алгоритм контекстно-зависимого взаимодействия игрока с объектами в 3D-среде, обеспечивающий универсальность, эффективность и удобство расширения, что делает его применимым при разработке современных игровых приложений.

Список литературы

1. Новак Дж. Разработка компьютерных игр. – М. : ДМК Пресс, 2014. 624 с.
2. Шелл Дж. Искусство геймдизайна. Книга линз : пер. с англ. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2019.

3. Godot Engine. Официальная документация. URL: <https://docs.godotengine.org> (дата обращения: 18.02.2026).
4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ : пер. с англ. – М. : Вильямс, 2019. 1328 с.

*А.В. Ключев, студ.; рук. А.С. Федулова, ст. преподаватель.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ

В настоящее время цифровые сервисы становятся неотъемлемой частью жизни человека, непрерывная работа является основным требованием к функционированию современных систем. Веб-приложения, чат-боты, онлайн-платформы и сервисы автоматизации используются множеством пользователей, обеспечивая доступ к услугам в режиме 24/7. Бесперебойная работа влияет на стабильность бизнес-процессов и пользовательский опыт, вопросы надежности, отказоустойчивости и оперативного восстановления после сбоев – технические задачи, являющиеся фундаментальными показателями качества программного обеспечения. Исходя из этого, даже кратковременное нарушение работы таких сервисов может привести к огромным финансовым потерям и негативно сказаться на лояльности клиентов к компании.

Серверные сбои обусловлены природой серверной инфраструктуры: сетевые разрывы, ошибки в коде, зависания процессов, проблемы с базами данных или инфраструктурой. По этой причине для разработчиков вопросы отказоустойчивости и автоматического восстановления работы после сбоев становятся важными, необходимо учитывать варианты сбоев в начале жизненного цикла программы.

На сегодняшний день экосистема Linux является популярной для решения этих задач благодаря открытости, стабильности и надежности. В среде Linux существует ряд решений, обеспечивающих надежность сервисов. Рассмотрены будут известные варианты: Systemd, Supervisor и Docker. Каждый предлагает собственный подход к управлению процессами, контролю состояния и восстановлению работоспособности. Сравнение средств позволяет определить оптимальные сценарии применения для конкретного класса приложений, работающих в условиях постоянной нагрузки и интенсивного сетевого взаимодействия.

Проведение сравнительного анализа перечисленных выше инструментов по их архитектуре, механизмам отслеживания сбоев, стратегиям перезапуска, области применения, а также выявление сильных и слабых сторон каждого из них, позволит сделать вывод о необходимости использования, соответствующего выделенным требованиям системой менеджера.

Технология Systemd – это системный менеджер инициализации, встроенный в большинство современных дистрибутивов Linux. Управляет службами на уровне операционной системы, контролирует жизненный цикл,

обеспечивает автоматическое включение при загрузке и перезапуск при сбоях. Главная особенность – инициализация ядром напрямую и становление первым процессом в системе пользовательского пространства. Контроль над жизненным циклом всех процессов в системе. Работа на низком уровне позволяет быть надежным и предсказуемым. Основу архитектуры Systemd составляет концепция юнитов – конфигурационных файлов, содержащих в себе параметры запуска системы и приложений, их остановки, перезагрузки, а также описание поведения при сбоях. Функционал позволяет гибко настраивать стратегии восстановления, контролировать частоту, отслеживая коды возврата и сигналы завершения процессов, управлять зависимостями между сервисами, что важно для обеспечения предсказуемой работы служб [1]. К преимуществам Systemd можно отнести: глубокую интеграцию с ядром и минимальную задержку при обнаружении сбоя процесса. Основной недостаток – в высокой связности компонентов, активное развитие может нарушать стабильность на некоторых конфигурациях, сбой процесса критичен для всей системы. Systemd является оптимальным выбором для управления системными приложениями, которые должны запускаться на ранних этапах загрузки и быть частью операционной системы.

Технология Supervisor – это программный инструмент управления процессами пользовательских приложений, не является частью операционной системы, работает как отдельное программное обеспечение и используется для управления дочерними сервисами внутри проекта. Архитектура построена по модели клиент-сервер, где центральный координатор контролирует подпроцессы. Настройка осуществляется через конфигурационный файл, в котором описываются команды старта приложений, для каждой программы задается команда запуска, рабочая директория, переменные окружения и политика перезапуска. Технология поддерживает автоматическую перезагрузку процессов при их аварийном завершении, предоставляет средства логирования стандартных потоков вывода и ошибок. Возможность объединять процессы в группы и назначать приоритеты, задавая порядок инициализации и остановки. Инструмент имеет простой интерфейс и не требует специализированных знаний в администрировании [2]. Отсутствует интеграция на уровне операционной системы, не обладает правом управления зависимостями между системными службами и не может отслеживать состояние системы в целом, время реакции на сбой выше, чем у менеджера Systemd. По этой причине Supervisor чаще используется в сценариях, где управление процессами происходит на уровне приложения и не требуется вмешательство в конфигурацию системных сервисов.

Технология Docker – это система контейнеризации, предназначенная для упаковки и изоляции приложений вместе с их зависимостями в изолированные среды выполнения – контейнеры. В основе системы находятся механизмы операционной системы Linux, отвечающие за изоляцию и контроль ресурсов. Контейнеры выполняются изолированно, но используют общее ядро операционной системы. Docker работает на уровне управления всего контейнера,

не отдельного процесса внутри системы. Приложения запускаются внутри контейнеров, которые создаются из образов – шаблонов, содержащих необходимые зависимости, библиотеки и настройки. Технология предоставляет механизмы управления жизненным циклом контейнеров и автоматическую перезагрузку при сбоях. Политики перезапуска позволяют запускать контейнеры повторно в случае ошибки или после перезагрузки системы, задавать параметры повторного старта и получать сигналы от контейнера о текущем состоянии. Имеется оркестрация – возможность перепланировки задач на другие узлы кластера в случае отказа одного из них. Подход гарантирует воспроизводимость среды и упрощает развертывание программного обеспечения на различных серверах, изоляция процессов делает работу контейнеров независимой друг от друга, что защищает их при возникновении проблем в других контейнерах [3]. Свойства Docker-а позволяют использовать в проектах, требующих унификации окружения, микросервисной архитектуры и масштабирования.

Результаты проведенного анализа технологий обеспечения надежности серверных приложений приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ технологий

Критерий	Systemd	Supervisor	Docker
Уровень работы	Системный уровень ОС	Уровень пользовательских процессов	Контейнерная виртуализация
Сложность настройки	Средняя	Низкая	Средняя-высокая
Возможность автоматического перезапуска	Присутствует	Присутствует	Присутствует
Тип инструмента	Система инициализации и менеджер сервисов ОС	Менеджер процессов приложений	Система контейнеризации
Изоляция окружения	Отсутствует	Отсутствует	Полная контейнерная изоляция
Масштабируемость и переносимость	Низкая	Низкая	Высокая
Управление зависимостями	Прямое управление	Ограничено, через приоритеты	Через оркестрацию
Время реакции на сбой процесса	Высокая	Средняя	Средняя

Проведенный анализ позволяет сделать вывод – решая исходные задачи управления жизненным циклом приложений и обеспечения их отказоустойчивости, функционирование выполняется на разных уровнях программной инфраструктуры и основываются на специальных архитектурных подходах. Технологии Systemd и Supervisor управляют процессами напрямую в среде операционной системы, без применения изоляции. Это даёт прямой доступ к ресурсам хоста, но делает приложение чувствительным к изменениям

окружения. Технология Docker запускает приложение в изолированном контейнере, что обеспечивает переносимость и предсказуемость работы независимо от конфигурации сервера.

С точки зрения потребления ресурсов и времени реакции системы управления на сбой процесса система Systemd использует минимальные накладные расходы и наименьшее время реакции, является частью операционной системы и не создает дополнительных абстракций. Менеджер Supervisor является легковесным решением, требует запуска процесса-менеджера. Система Docker затратна по накладным расходам, связанным с работой уровней файловой системы и изоляцией процессов. Для современных микросервисных архитектур затраты не критичны, но для простых приложений использование контейнеризации может быть избыточным.

Таким образом, выбор конкретного инструмента должен определяться требованиями к приложению. Система Systemd является фундаментальным решением для управления сервисами на уровне операционной системы. Оптимален для важных системных процессов и фоновых сервисов, которые должны функционировать как неотъемлемая часть операционной системы. Технология Supervisor представляет собой легковесное решение для управления прикладными процессами. Среди преимуществ можно выделить простоту настройки, прозрачность контроля процесса-потомка и возможность группового управления. Инструмент лучше всего подходит для пользовательских скриптов или веб-приложений, для запуска нескольких связанных процессов в средах, где использование Systemd будет избыточным. Технология Docker предлагает концепцию изоляции на основе контейнеризации, где отказоустойчивость достигается встроенными политиками перезапуска. Его применение наиболее оптимально в микросервисных архитектурах, требующих возможности балансировки нагрузки и масштабирования.

Технология Systemd является наиболее предпочтительным решением в широком контексте из-за интеграции с большинством дистрибутивов Linux и отсутствия необходимости установки дополнительных компонентов, обеспечивая единый подход к управлению службами. Это самая распространенная система инициализации, обладающая широкой поддержкой и стабильной экосистемой. Работа на уровне операционной системы сводит к минимуму временные затраты на обработку сбоев, делает управление службами более предсказуемым.

Литература

- [1]. Systemd: полное руководство для админов + примеры [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/942760/> (дата обращения: 10.03.2026)
- [2]. Introduction – Supervisor 4.0.0.dev0 documentation [Электронный ресурс]. URL: <https://supervisord.readthedocs.io/en/latest/introduction.html> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. Маркелов, А. А. Введение в технологию контейнеров и Kubernetes / А. А. Маркелов. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – ISBN 978-5-97060-775-6. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/131702> (дата обращения: 13.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ

Автоматическое распознавание речи (ASR) – процесс преобразования акустического сигнала в текстовый формат. Архитектура нейросети определяет частоту ошибок в словах (WER), скорость распознавания (RTF), требования к ресурсам и данным.

Рассмотрены три класса архитектур автоматического распознавания речи (ASR): рекуррентные нейронные сети (RNN), сверточные нейронные сети (CNN) и нейросети-трансформеры. Проведен их сравнительный анализ: выделены преимущества и недостатки, типовые области применения.

Актуальность темы развития архитектур систем автоматического распознавания речи (ASR) обусловлена растущими требованиями к качеству и скорости обработки голосовых данных. Внедрение голосовых интерфейсов в пользовательские устройства, системы умного дома, сервисы автоматической расшифровки аудиоконференций и субтитрирования видео делает необходимым постоянное совершенствование алгоритмов распознавания.

Рекуррентные нейронные сети (RNN) стали основой для систем автоматического распознавания речи (ASR). Наличие петель обратной связи позволяет учитывать контекст предыдущих временных шагов при обработке текущего фрагмента сигнала. Преимущества: способность моделировать временные зависимости, пригодность для обработки аудиопотоков произвольной длины, возможность работы в реальном времени. Недостатки: последовательный характер обучения, проблема затухания градиентов, неэффективность извлечения локальных частотных паттернов из спектрограмм. Применяются в системах с ограничениями по энергопотреблению и памяти [1].

В сверточных нейронных сетях (CNN) сверточные слои обрабатывают спектрограммы для выделения локальных акустических признаков. Архитектуры QuartzNet и Jasper используют расширенные свертки для увеличения рецептивного поля. Преимущества: высокий параллелизм вычислений, эффективное моделирование локальных зависимостей, устойчивость к временным вариациям. Недостатки: для моделирования долгосрочных контекстов требуется большое количество слоев, что увеличивает глубину сети. Применяются в коммерческих продуктах, требующих баланса скорости и качества [1].

Нейросети-трансформеры обрабатывают последовательность целиком через механизм самовнимания, оценивая взаимосвязи между элементами независимо от их расположения в предложении. Гибридная архитектура Conformer объединяет сверточные слои и трансформерные блоки. Преимущества: моделирование краткосрочных и долгосрочных зависимостей, высокий параллелизм, минимальная частота ошибок в словах (WER) [2].

Недостатки: квадратичная сложность вычислений, требовательность к данным и ресурсам. Применяются в системах, где главным требованием является качество: автоматические субтитры, медицинская и юридическая расшифровка.

В таблице 1 приведена статистика по показателю частоты ошибок в словах (WER) и его составляющим для нескольких групп данных. Для каждой модели рассчитаны среднее арифметическое и стандартное отклонение показателя частоты ошибок в словах WER [3].

Таблица 1 – Сравнительный анализ моделей Google и Whisper

Группа	Google				Whisper			
	Частота ошибок в словах (WER)	Доля замен	Доля пропусков	Доля вставок	Частота ошибок в словах (WER)	Доля замен	Доля пропусков	Доля вставок
1	0,571	0,252	0,113	0,206	0,534	0,193	0,045	0,296
2	0,459	0,211	0,128	0,120	0,416	0,177	0,040	0,200
3	0,539	0,236	0,117	0,186	0,527	0,177	0,047	0,303
4	0,529	0,267	0,154	0,170	0,572	0,201	0,040	0,332
5	0,631	0,262	0,173	0,195	0,581	0,175	0,060	0,346
6	0,581	0,252	0,077	0,252	0,525	0,191	0,041	0,293
7	0,610	0,260	0,155	0,196	0,650	0,209	0,064	0,377
8	0,532	0,259	0,137	0,137	0,486	0,200	0,048	0,238
9	0,571	0,274	0,180	0,118	0,514	0,229	0,084	0,202
10	0,645	0,306	0,087	0,252	0,612	0,202	0,054	0,356
Ср. знач.	0,573	0,259	0,132	0,183	0,542	0,195	0,052	0,294
Станд. Отклон.	0,063	0,018	0,038	0,079	0,086	0,018	0,033	0,105

Средний показатель WER для модели Google составляет 0.573 (57.3%), для модели Whisper – 0.583 (58.3%). Средняя точность моделей находится на сопоставимом уровне.

Стандартное отклонение у Whisper (0.078) выше, чем у Google (0.063). Это свидетельствует о большей вариативности точности модели Whisper в зависимости от группы данных по сравнению с результатами Google.

В таблице 2 приведена статистика эксперимента для различных конфигураций моделей семейств Vosk и Whisper. Эксперимент проводился на аудиофайлах длительностью 5, 10, 20 и 29 секунд. [3]

Масштабирование модели: увеличение размера модели повышает точность распознавания и пропорционально увеличивает задержку обработки.

Таблица 2 – Сравнительный анализ моделей Vosk и Whisper

Исходный аудиофайл, сек	Семейство моделей Vosk			Семейство моделей Whisper		
	Время обработки, Сек	Название модели	Частота ошибок в словах (WER)	Время обработки, сек	Название модели	Частота ошибок в словах (WER)
5	0,21	small-ru-0.22	0,266	2,3	base.bin	0,196
10	0,42	small-ru-0.22	0,193	2,3	base.bin	0,154
20	0,8	small-ru-0.22	0,25	2,8	base.bin	0,123
29	1,2	small-ru-0.22	0,339	3,3	base.bin	0,231
5	1,8	ru-0.22	0,2	22,4	medium.bin	0,123
10	3,5	ru-0.22	0,193	23,2	medium.bin	0,113
20	6,5	ru-0.22	0,134	25,5	medium.bin	0,83
29	9,2	ru-0.22	0,262	27,4	medium.bin	0,175
5	1,9	ru-0.42	0,133	42	large.bin	0,101
10	3,4	ru-0.42	0,129	45,5	large.bin	0,85
20	6,7	ru-0.42	0,115	46,7	large.bin	0,76
29	9	ru-0.42	0,252	55,3	large.bin	0,144

Модель Vosk обеспечивает минимальную задержку при более высокой частоте ошибок в словах; модель Whisper достигает более высокой точности, но требует больших вычислительных затрат и времени обработки.

На коротких фрагментах (5 с) точность моделей одного класса сопоставима. При увеличении длины до 20 с наблюдается общее улучшение распознавания. Рост частоты ошибок в словах (WER) на фрагменте 29 с для всех тестируемых моделей, обусловлен ухудшением акустических условий и спецификой речи в данном файле.

В ходе изучения материала по теме автоматического распознавания речи были проанализированы данные источников [2][3]. На основе этих данных были выделены ключевые показатели, которые являются общими для различных технологий распознавания (Google, Whisper, Vosk) и для отдельных моделей. К таким показателям относятся частота ошибок в словах (WER), характеризующая точность распознавания, задержка обработки, а также стабильность работы модели, оцениваемая через стандартное отклонение. Выделение этих метрик позволило структурировать экспериментальные результаты из источников в сравнительную таблицу, где сопоставляются технологии на основе единого набора параметров.

На основе данных, представленных в таблицах 1 и 2, модель Whisper демонстрирует более высокую точность транскрипции по сравнению с альтернативными решениями (модели семейств Google, Vosk), что обосновывает ее применение в дальнейшей разработке.

Согласно таблице 1, средняя частота ошибок в словах (WER) для модели Whisper составляет 0,542, что на 5,4% ниже показателя модели Google (0,573). Структура ошибок модели Whisper характеризуется значительно меньшей долей пропусков (0,052 против 0,132 у модели Google), но сопровождается более высокой долей вставок (0,294 против 0,183). Меньшее стандартное отклонение частоты ошибок в словах (WER) у модели Whisper (0,063 против 0,086 модели Google), что указывает на более стабильное качество распознавания.

Данные из таблицы 2 подтверждают, что модели семейства Whisper обеспечивают лучшее качество распознавания во всех сравнимых конфигурациях. При сопоставимых условиях (длительность аудио 29 с): модель Whisper «base.bin» частота ошибок в словах (WER) достигает 23,1% против 33,9% у модели Vosk «small-ru-0.22»; «medium.bin» – 17,5% против 26,2% у модели Vosk «ru-0.22»; «large.bin» – 14,4% против 25,2% у модели Vosk «ru-0.42». Во всех случаях модели Whisper демонстрируют относительное снижение частоты ошибок в словах (WER) на 30–45%.

Несмотря на то, что время обработки у моделей Whisper (от 2,3 до 55,3 с в зависимости от размера модели) превышает показатели Vosk (от 0,21 до 9,2 с), важным критерием для дальнейшей разработки является точность распознавания. Учитывая стабильно более низкий показатель частоты ошибок в словах (WER) во всех тестовых сценариях, использование Исходя из соотношения точности и ресурсоемкости, использование Whisper целесообразно в системах, где допустимо увеличение времени обработки и вычислительных затрат ради минимизации показателя частоты ошибок в словах (WER).

Литература

- [1]. Гудфеллоу, Я. Глубокое обучение / Я. Гудфеллоу, И. Бенджио, А. Курвилль ; перевод с английского А. А. Слинкина. – 2-е изд. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 652 с. – ISBN 978-5-97060-618-6.
- [2]. Нейросетевые технологии и прикладные модели машинного обучения в инфокоммуникациях: практикум : учебное пособие / В. В. Овчинников, А. А. Кислицын, А. А. Елсуков [и др.]. – Йошкар-Ола : ПГТУ, 2024. – 84 с. – ISBN 978-5-8158-2421-8.
- [3]. Тампель, И. Б. Автоматическое распознавание речи : учебное пособие / И. Б. Тампель, А. А. Карпов. – Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, 2017. – 152 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ОШИБОК НАЧИНАЮЩИХ БАРАБАНЩИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С MIDI- КОНТРОЛЛЕРОВ

Обучение игре на ударной установке представляет собой сложный процесс, требующий развития координации движений, чувства ритма и контроля динамики. Особую сложность представляет самостоятельное обучение, когда у начинающего музыканта отсутствует возможность получать объективную обратную связь от преподавателя [1]. Развитие технологий MIDI (Musical Instrument Digital Interface) и распространение доступных электронных ударных установок создают предпосылки для создания интеллектуальных систем, способных автоматически анализировать игру барабанщика, выявлять ошибки и предоставлять рекомендации по их исправлению. MIDI-данные предоставляют точную информацию о времени удара (onset), силе удара (velocity), высоте ноты (pitch) и длительности звучания, что делает их идеальным источником для количественного анализа исполнительского мастерства [2].

В работе Наоки Ивами и Масанобу Миуры [3] предложена система для практики «drum-loop performance» (DLP) – повторяющегося исполнения базовых ритмических паттернов. Система анализирует в реальном времени соответствие исполнения заданной партитуре и выявляет ошибки, включая пропущенные ноты и отклонения во времени атаки. Ключевая особенность подхода заключается в том, что система не только фиксирует ошибки, но и визуализирует их в реальном времени, позволяя исполнителю немедленно осознавать свои слабые стороны [3].

Важной проблемой при анализе MIDI-данных является различие выразительного (человеческого) и механистического (квантизованного) исполнения. В рамках работы над датасетом GigaMIDI [4] были разработаны эвристики для обнаружения выразительного музыкального исполнения:

1. DNVR (Distinctive Note Velocity Ratio) – анализ вариативности скорости удара, отражающий динамические изменения в исполнении [4].
2. DNODR (Distinctive Onset Deviation Ratio) – анализ отклонений во времени атаки нот от идеальной ритмической сетки [4].
3. NOMML (Note Onset Median Metric Level) – анализ позиций атаки относительно метрических уровней [4].

Согласно этому исследованию, «невыразительные MIDI-треки демонстрируют относительно фиксированные уровни velocity и минимальные отклонения атаки, что приводит к метрономичной и механической ритмике. Напротив, выразительные MIDI-треки характеризуются тонкими временными отклонениями и большей вариативностью velocity, связанной с динамикой» [4].

Ритмические ошибки связаны с неточностью соблюдения временных интервалов между ударами. В количественном выражении они характеризуются отклонением времени атаки (onset deviation) от эталонной ритмической сетки. В

работе, посвященной анализу выразительности MIDI-исполнения [4], отклонения во времени атаки рассматриваются как ключевой показатель, отличающий «живое» исполнение от квантизованного. Для начинающих барабанщиков характерны как систематические отклонения (устойчивое ускорение или замедление), так и случайные флуктуации [3].

Динамические ошибки проявляются в несоответствии силы удара музыкальному контексту. Анализ вариативности *velocity* позволяет оценить, насколько хорошо исполнитель контролирует динамику [4]. Для начинающих барабанщиков типичны: недостаточная дифференциация силы удара между разными элементами установки, отсутствие крещендо и диминуэндо, чрезмерно жесткие или слабые удары.

Координационные ошибки связаны с нарушением последовательности ударов различными конечностями. Ивами и Миура [3] в своей системе DLP уделяют особое внимание контролю правильности порядка ударов: «практикуя DLP, барабанщик учится координировать свои руки и ноги в предписанном порядке и наносить удары по установке с заданными временными параметрами и интенсивностью» [3].

К этому типу относятся ошибки, связанные с пропуском нот, которые должны быть сыграны согласно партитуре, или с добавлением лишних ударов. В работе Ивами и Миуры [3] система обнаружения ошибок специально отслеживает «пропущенные ноты» как отдельную категорию ошибок. Добавление лишних ударов может быть связано как с координационными проблемами, так и с техническими артефактами оборудования [5].

Перед анализом MIDI-данных необходимо обеспечить их очистку от технических артефактов. Как показывает практика, MIDI-контроллеры могут генерировать ложные сигналы по разным причинам: неисправность кабелей, проблемы с заземлением, электромагнитные наводки [5]. Типичная проблема описывается пользователем форума: «иногда генерируются какие-то совершенно лишние и из ниоткуда миди сигналы, то бишь воспроизводится звук, но при этом я пэд не трогаю» [5]. Такие артефакты необходимо отсеивать, используя пороговые значения по времени между ударами (минимальный интервал, меньший которого считается невозможным для человеческого исполнения) и по *velocity* (слишком низкие значения могут быть шумовыми).

Базовый метод классификации ритмических ошибок основан на сравнении реального времени ударов с эталонной временной сеткой, заданной метрономом или партитурой [3]. Для каждого удара вычисляется отклонение $\Delta t = t_{\text{actual}} - t_{\text{reference}}$. На основе распределения отклонений можно классифицировать ошибки:

- опережение ($\Delta t < -T$);
- запаздывание ($\Delta t > T$);
- точное попадание ($|\Delta t| \leq T$),

где T – пороговое значение, определяемое допустимой погрешностью (обычно 10-30 мс в зависимости от темпа) [3].

Более сложные методы классификации используют вероятностные модели. Исследователи предлагают использовать скрытые марковские модели (HMM) для отслеживания исполнения и обнаружения ошибок [6]. В работе, посвященной анализу полифонических MIDI-исполнений, представлен алгоритм следования за партитурой, который может обрабатывать ошибки исполнения, орнаментику и десинхронизацию голосов [6].

Современные подходы включают использование рекуррентных нейронных сетей (RNN) для обнаружения и коррекции ошибок в реальном времени. В работе «Real-time error correction and performance aid for MIDI instruments» [7] предлагаются «общие архитектуры рекуррентных нейронных сетей для коррекции ошибок в реальном времени и помощи в исполнении на MIDI-инструментах».

Особый интерес представляет фреймворк RUMAA (Repeat-Aware Unified Music Audio Analysis), предложенный в 2025 году [8]. Эта трансформер-архитектура объединяет выравнивание партитуры с исполнением, транскрипцию и обнаружение ошибок в едином подходе, обеспечивая перспективные результаты в обнаружении ошибок [8].

На основе проведенного анализа предложен набор количественных метрик для оценки качества исполнения:

Среднее абсолютное отклонение (MAD) – среднее значение абсолютных отклонений времени атаки от эталонной сетки: $MAD = (1/N) * \sum |\Delta t_i|$ [3];

Стандартное отклонение отклонений (SDD) – характеризует стабильность ритма: $SDD = \sqrt{((1/(N-1)) * \sum (\Delta t_i - \mu)^2)}$ [3];

Коэффициент вариации velocity (CVV) – отношение стандартного отклонения velocity к среднему значению: $CVV = \sigma_{velocity} / \mu_{velocity}$ [4].

Индекс точности исполнения (Performance Accuracy Index, PAI) – интегральный показатель, объединяющий ритмическую и динамическую точность: $PAI = w_1 * (1 - MAD_{norm}) + w_2 * (1 - CVV_{norm}) + w_3 * Accuracy_{pitch}$ [3].

Разработанные методы классификации ошибок могут найти применение в интеллектуальных обучающих системах для барабанщиков. Такая система могла бы в реальном времени анализировать игру ученика, выявлять его слабые места и предлагать персонализированные упражнения для их коррекции [3].

Важным направлением дальнейших исследований является разработка методов, способных различать преднамеренные выразительные отклонения (свинг, рубато) и непреднамеренные ошибки. Как отмечается в исследовании выразительности MIDI-исполнения [4], «различение невыразительных и выразительных MIDI-треков сложно, поскольку MIDI-файлы изначально не содержат этой информации».

Также перспективным направлением является использование больших MIDI-датасетов для обучения нейросетевых моделей. Доступность таких ресурсов, как GigaMIDI, содержащий более 1.4 миллиона MIDI-файлов [4], и Groove MIDI, специализированный датасет для ударных из 1150 файлов [9], создает основу для разработки более совершенных методов анализа.

В работе проведен анализ методов классификации ошибок начинающих барабанщиков на основе MIDI-данных. Выделены основные типы ошибок: ритмические, динамические, координационные, ошибки пропуска и добавления. Рассмотрены методы их детектирования, включая анализ отклонений времени атаки, анализ вариативности velocity и вероятностные модели. Предложен набор количественных метрик для оценки качества исполнения. Полученные результаты могут быть использованы при разработке мобильных приложений для самостоятельного обучения игре на ударной установке.

Литература

1. Downey A. Cacophony for the whole family. O'Reilly Media, 2017.
2. Android Developers Documentation. MIDI overview. URL: <https://developer.android.com/reference/android/media/midi/package-summary>
3. Iwami N., Miura M. A Support System for Basic Practice of Playing the Drums. Proceedings of ICMC, 2007.
4. GigaMIDI dataset and heuristics for expressive music performance detection. Transactions of ISMIR, 2024.
5. Форум барабанщиков. Тема: миди контроллер. проблемы с миди. URL: http://drumspeech.com/topic.php?forum=speech&theme_id=27458
6. A score-following algorithm for polyphonic MIDI performances. Virascience.
7. M., et al. Real-time error correction and performance aid for MIDI instruments. arXiv:2011.13122, 2020.
8. Chang S., et al. RUMAA: Repeat-Aware Unified Music Audio Analysis for Score-Performance Alignment, Transcription, and Mistake Detection. arXiv:2507.12175, 2025.
9. GitHub – k4lif1/loop-detection-1. Self-Supervised Hierarchical Metrical Analysis. 2024.

*Г.А. Козлов, студ.; рук. В.А. Тихонов, к.т.н., доцент
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРЕНДОВ И ГЕНЕРАЦИИ СИГНАЛОВ В ТОРГОВЫХ ТЕРМИНАЛАХ

Финансовые рынки сегодня устроены сложно. За ними следят и профессионалы, и обычные люди, которые хотят заработать на разнице курсов. Ежедневно миллионы участников по всему миру совершают сделки с валютой, акциями, криптовалютами и другими финансовыми инструментами. Многое решает то, насколько точно ты понимаешь рынок и когда принимаешь решение войти или выйти из сделки.

В техническом анализе одно из центральных мест занимает тренд – то есть куда вообще движется цена. Умение определить текущий тренд и предсказать момент его разворота считается основой успешной торговли. Однако на практике это оказывается непростой задачей, особенно для начинающих трейдеров [1].

Современные торговые терминалы, такие как MetaTrader 4, предлагают десятки различных индикаторов и инструментов для анализа. Но обилие информации часто не помогает, а, наоборот, может запутать пользователя. Отсюда возникает вопрос: «Какие методы действительно работают, а какие создают иллюзию понимания рынка?».

Целью данной работы является анализ существующих методов идентификации трендов и генерации сигналов, а также выявление наиболее эффективных подходов с точки зрения практического применения.

Понятие тренда и его виды

В техническом анализе под трендом понимается общее направление движения цены финансового инструмента. Обычно выделяют три типа тренда:

При восходящем тренде каждый новый максимум или минимум оказывается выше предыдущего. Такой рынок называют «бычьим», поскольку покупатели проявляют большую активность, чем продавцы. Восходящий тренд характеризуется ожиданием участников дальнейшего роста.

Нисходящий тренд – противоположная ситуация, когда максимумы и минимумы последовательно понижаются. Это «медвежий» рынок, где доминируют продавцы, ожидающие дальнейшего падения цены. На таком рынке преобладают негативные настроения и страхи участников.

Боковой тренд (флэт) – цена движется в горизонтальном коридоре между примерно равными уровнями поддержки и сопротивления. В такие периоды рынок неопределенности, силы покупателей и продавцов примерно равны, и четкого направления движения нет [2].

Надо сказать: идеальный тренд почти не встречается. Реальное движение цены всегда содержит элементы случайности и шума, что затрудняет распознавание конкретного движения.

Восприятие трендов трейдерами: результаты опроса

Для понимания реальной ситуации на рынке был проведен небольшой опрос среди пользователей торговых терминалов. В опросе приняли участие 50 человек – от начинающих трейдеров со стажем менее года до профессионалов с опытом более 5 лет. Респондентам предлагалось ответить на несколько вопросов, касающихся идентификации трендов.

Таблица 1 – Результаты опроса трейдеров

Вопрос	Варианты ответов	Результат
Как часто вы определяете тренд правильно?	Почти всегда (более 80%)	12%
	Часто (60-80%)	34%
	Примерно в половине случаев	42%
	Редко (менее 40%)	12%
Какие инструменты вы используете?	Визуальный анализ графика	78%
	Скользящие средние	64%
	Другие индикаторы	38%
Что для вас важнее?	Ранний сигнал (может быть ложным)	36%
	Подтвержденный сигнал (с задержкой)	64%

Если посмотреть на цифры, можно выделить несколько важных вещей:

Большинство трейдеров (42%) определяют тренд правильно лишь примерно в половине случаев, что можно сравнить случайным угадыванием. Это говорит о сложности задачи даже для опытных участников.

Наиболее популярным методом остается визуальный анализ графика (78%), несмотря на его субъективность. Трейдеры доверяют собственным глазам больше, чем математическим алгоритмам.

С ложными сигналами сталкивалось почти большинство участников опроса. Это подтверждает актуальность исследования.

Стоит отметить, что 64% респондентов предпочитают подтвержденные сигналы, даже если они поступают с задержкой. Это говорит о том что пользователи ставят в приоритет надежность а не скорость.

Обзор популярных методов идентификации трендов.

На основе анализа литературы и результатов опроса можно выделить несколько наиболее распространенных подходов к идентификации трендов.

Визуальный метод.

Самый очевидный способ – просто посмотреть на график. Трейдер открывает график цены и визуально оценивает, куда направлено движение. Для восходящего тренда характерны растущие "горки" (последовательность повышающихся максимумов и минимумов), для нисходящего – падающие, для флэта – горизонтальное движение.

Плюс в том, что ничего особого знать не надо. Открыл график – и смотришь. Недостатки: высокая субъективность, зависимость от масштаба графика, сложность определения момента разворота.

Трендовые линии.

Трендовые линии – это развитие визуального метода. Трейдер проводит линию по двум или более значимым точкам: для восходящего тренда – по локальным минимумам, для нисходящего – по локальным максимумам. Пока цена находится выше восходящей линии или ниже нисходящей, тренд считается действующим. Пробой линии сигнализирует о возможной смене тренда.

Это уже точнее, чем просто взгляд, но всё равно есть место для личного выбора – где именно рисовать линию.

Скользящие средние.

Скользящие средние – их ещё называют (Moving Averages) – многие трейдеры любят за простоту расчётов. Индикатор рассчитывает среднюю цену за определенный период и отображает ее в виде линии. Когда текущая цена находится выше скользящей средней, тренд считается восходящим, ниже – нисходящим.

Для генерации сигналов часто используют две скользящие средние с разными периодами: быструю (с малым периодом) и медленную (с большим периодом). Когда быстрая пересекает медленную снизу вверх – это сигнал к покупке, сверху вниз – к продаже [3].

Осцилляторы.

RSI (Relative Strength Index) или Stochastic смотрят на скорость изменения цены и показывают, не пора ли рынку развернуться. Они измеряют скорость изменения цены и отображают результат в виде линии, колеблющейся в определенном диапазоне (обычно от 0 до 100).

Когда осциллятор достигает верхних значений (выше 70), рынок считается перекупленным – возможен разворот вниз. Когда осциллятор опускается к нижним значениям (ниже 30), рынок перепродан – возможен разворот вверх.

Но есть нюанс: когда тренд мощный, осцилляторы подолгу зависают в крайних значениях и обманывают.

Сравнительный анализ методов.

Для оценки эффективности различных методов был проведен их сравнительный анализ по нескольким критериям. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительный анализ методов идентификации трендов

Метод	Объективность	Скорость сигнала	Защита от шума	Сложность
Визуальный	Низкая	Высокая	Низкая	Низкая
Трендовые линии	Средняя	Средняя	Средняя	Средняя
Скользящие средние	Высокая	Низкая	Высокая	Низкая
Осцилляторы	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя

Как видно из таблицы, идеального способа нет. Визуальный метод дает быстрые, но субъективные сигналы. Скользящие средние объективны и хорошо фильтруют шум, но сильно запаздывают. Осцилляторы занимают промежуточное положение, но могут давать ложные сигналы в сильные тренды.

Любопытно, что профессионалы обычно не ограничиваются одним инструментом, а смешивают два или три. Например, скользящие средние для определения общего направления и осцилляторы для поиска точек входа. Такой подход позволяет скомпенсировать недостатки каждого метода по отдельности.

Проблема ложных сигналов.

Самая частая головная боль трейдера – ложные сигналы. Они возникают по нескольким причинам:

Например, рыночный шум: случайные дёргания цены, которые не связаны с основным движением. Особенно силен шум на малых временных интервалах (минутных, часовых).

Фундаментальные факторы – выход важных новостей, экономических показателей, заявлений политиков может вызвать молниеносные, но кратковременные движения цены.

Психология толпы – эмоциональные реакции участников рынка могут приводить к хаотичным движениям, которые быстро сменяются противоположными.

Манипуляции – крупные игроки иногда специально создают ложные движения, чтобы спровоцировать мелких трейдеров на открытие позиций, а затем двигают цену в противоположном направлении.

По данным опроса, 82% трейдеров регулярно сталкиваются с ложными сигналами. Для борьбы с ними используются различные методы:

- подтверждение сигнала от нескольких независимых индикаторов;
- анализ на нескольких временных интервалах;
- ожидание закрытия свечи для подтверждения пробоя;
- использование фильтров волатильности.

Лучше всего работает комбинация нескольких приёмов фильтрации. Однако универсального решения проблемы ложных сигналов не существует – каждый трейдер вырабатывает собственную стратегию с учетом своего стиля торговли и терпимости к риску.

Заключение

В ходе проведенного исследования были решены следующие задачи:

Проведен анализ понятия тренда и его видов, определены ключевые характеристики восходящего, нисходящего и бокового трендов.

Организован и проведен опрос среди пользователей торговых терминалов, позволивший выявить ряд проблем, с которыми сталкиваются трейдеры при распознавании трендов. Результаты опроса показали, что большинство участников (42%) правильно определяют тренд лишь в половине случаев, а 82% регулярно сталкиваются с ложными сигналами.

Рассмотрены основные методы распознавания трендов: визуальный анализ, построение трендовых линий, скользящие средние и осцилляторы. Выявлены их преимущества и недостатки.

Проведен сравнительный анализ методов по критериям объективности, скорости сигнала, защиты от шума и сложности. Было доказано, что ни один метод не является универсальным, и наиболее эффективным представляется комбинированный подход.

Рассмотрена проблема ложных сигналов, выявлены основные причины их возникновения и способы борьбы с ними.

Эта работа может пригодиться и новичкам, и тем, кто уже давно торгует. Понимание сильных и слабых сторон различных методов и инструментов позволяет более осознанно подходить к выбору инструментов анализа и способу применения получаемых сигналов.

Литература

- [1]. Швагер Дж. Технический анализ. Полный курс / Джек Швагер ; пер. с англ. А. Куницына. – М. : Альпина Паблишер, 2022. – 800 с.
- [2]. Мэрфи Дж. Технический анализ финансовых рынков / Джон Мэрфи ; пер. с англ. – М. : Диалектика, 2023. – 592 с.
- [3] Ковалев А.И. Форекс для начинающих. Справочник трейдера / А.И. Ковалев. – СПб., 2023. – 320 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОЗАПЧАСТЕЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Современный этап развития розничной торговли демонстрирует устойчивую тенденцию перехода потребителей в цифровую среду, и рынок автозапчастей не является исключением. Согласно данным аналитических агентств, по итогам 2025 года доля онлайн-продаж в общем объеме рынка автокомпонентов достигла 43% [1]. Покупатели все чаще отказываются от посещения физических магазинов, отдавая предпочтение интернет-площадкам, что объясняется возможностью экономии времени, оперативного сравнения цен и доступа к широкому ассортименту, включая редкие позиции. Для владельцев розничных магазинов автозапчастей выбор стратегии онлайн-продаж становится критически важным, поскольку неверное решение относительно канала сбыта может повлечь неоправданные затраты, снижение конверсии и потерю рыночных позиций. Цель данной работы заключается в систематизации существующих каналов онлайн-продаж автозапчастей, разработке математического подхода к выбору оптимальной платформы и выявлении реальных потребительских предпочтений на основе социологического исследования.

На основе анализа открытых источников и рыночных данных 2024–2026 годов выделены следующие основные категории платформ для реализации автозапчастей.

Универсальные маркетплейсы. К данной категории относятся крупные торговые площадки, такие как Ozon, Wildberries и Avito [2]. Они обеспечивают максимальную скорость выхода на рынок (от нескольких дней до недели), предоставляя продавцу доступ к многомиллионной аудитории. Согласно рейтингу CNews за 2025 год, Avito признан лучшей онлайн-платформой для продажи автотоваров: на площадке представлено более 75 миллионов товарных предложений. Преимуществом маркетплейсов является развитая логистическая инфраструктура (пункты выдачи заказов, курьерская доставка) и встроенные инструменты продвижения. Вместе с тем данные платформы ограничивают возможности брендинга, взимают комиссию с продаж от 5 до 15 процентов и не всегда предоставляют специализированный функционал для точного подбора запчастей, в частности поиск по VIN-коду.

Специализированные интернет-гипермаркеты. Вторую категорию составляют профильные площадки, ориентированные исключительно на автозапчасти: Exist.ru, Autodoc.ru и другие [1]. Данные платформы обладают глубокими каталогами, интегрированными с международными справочниками TecDoc, и предлагают расширенную функциональность: подбор по VIN, возможность создания «Гаража» с несколькими автомобилями,

профессиональные фильтры. Требования к продавцу здесь выше, чем на маркетплейсах, однако для покупателя такие площадки выступают эталоном точности подбора, что особенно важно при приобретении сложных технических узлов.

Традиционная розница. Физические автомагазины и рыночные точки сохраняют свою актуальность для срочных покупок и для клиентов, предпочитающих личный осмотр товара. Однако высокая арендная плата, ограниченный ассортимент и локальный охват аудитории делают их уязвимыми в конкурентной борьбе [3].

Для понимания реальных предпочтений покупателей и верификации полученных выводов был проведен устный опрос среди покупателей и сотрудников магазина автозапчастей, в котором я работаю. В опросе приняли участие 20 респондентов различных возрастных групп.

Опрос включал вопросы о возрасте, поле, стаже вождения, предпочитаемых каналах покупки, причине выбора. Данные, полученные в ходе опроса, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты опроса о предпочтениях при покупке автозапчастей

	Возраст	Стаж вождения	Основной канал	Причина выбора
11	18-25	До 3 лет	Маркетплейс	Цена
22	18-25	До 3 лет	Маркетплейс	Удобство
33	18-25	3-10 лет	Спец. сайт	Ассортимент
44	26-35	3-10 лет	Маркетплейс	Цена
55	26-35	>10 лет	Спец. сайт	Ассортимент
66	26-35	3-10 лет	Розница	Посмотреть вживую
77	26-35	>10 лет	Спец. сайт	Удобство
88	36-50	>10 лет	Розница	Привычка
99	36-50	>10 лет	Спец. сайт	Ассортимент
110	36-50	3-10 лет	Маркетплейс	Удобство
111	36-50	>10 лет	Розница	Срочность
112	36-50	>10 лет	Спец. сайт	Удобство
113	50+	>10 лет	Розница	Привычка
114	50+	>10 лет	Розница	Посмотреть вживую
115	50+	3-10 лет	Маркетплейс	Цена
116	18-25	До 3 лет	Маркетплейс	Цена
117	26-35	До 3 лет	Маркетплейс	Цена
118	36-50	>10 лет	Спец. сайт	Удобство
119	50+	>10 лет	Розница	Посмотреть вживую
220	26-35	3-10 лет	Спец. сайт	Цена

Анализ результатов опроса позволил выявить следующие закономерности:

В возрастной группе 18-25 лет (4 респондента) 3 человека (75%) предпочитают маркетплейсы, 1 человек (25%) выбирает специализированные

сайты. Розничные магазины в данной возрастной категории не пользуются спросом (0%). Ключевыми факторами выбора для молодых респондентов являются цена (2 человека) и удобство (1 человек). Это объясняет их ориентацию на маркетплейсы, где эти критерии максимально реализованы.

Среди респондентов 26-35 лет (7 человек) наблюдается сбалансированное распределение: маркетплейсы выбрали 3 человека (43%), специализированные сайты – 3 человека (43%), розницу – 1 человек (14%). Анализ мотивов показывает, что ценовой фактор доминирует у покупателей маркетплейсов, тогда как ассортимент и удобство становятся определяющими для пользователей специализированных сайтов.

В группе 36-50 лет (6 респондентов) лидируют специализированные сайты – 3 человека (50%). Розницу предпочли 2 человека (33%), маркетплейсы – 1 человек (17%). Для данной возрастной категории ключевыми факторами выступают ассортимент (2 человека) и удобство (2 человека), что коррелирует с выбором специализированных платформ. Покупатели, выбирающие розницу, руководствуются привычкой, срочностью и возможностью посмотреть товар вживую.

Среди респондентов старше 50 лет (3 человека) абсолютное большинство (2 человека, 67%) выбирают традиционную розницу. Один респондент (33%) предпочел маркетплейс. Специализированные сайты в этой возрастной группе не выбирал никто (0%). Основными причинами выбора розницы являются привычка и возможность лично осмотреть товар перед покупкой.

Таким образом, подтверждается гипотеза о смещении предпочтений от розницы в сторону онлайн-каналов по мере уменьшения возраста респондентов, при этом для каждой возрастной группы характерны свои доминирующие мотивы выбора. Молодежь ориентирована на цену и удобство маркетплейсов, старшее поколение сохраняет приверженность привычке и возможности осмотра в рознице, а респонденты среднего возраста ценят ассортимент и удобство специализированных сайтов для точного подбора запчастей.

Выявленные в ходе опроса проблемы обосновывают актуальность моей бакалаврской работы. В рамках диплома разрабатывается Android-приложение для отображения ассортимента автозапчастей и их заказа [4,5]. Приложение поможет как покупателям, так и сотрудникам розничных магазинов.

В работе проведена систематизация современных каналов продаж автозапчастей, подтверждающая тезис о росте значимости онлайн-платформ.

Литература

- [1]. Анализ рынка автозапчастей в России: тренды 2025 года // AutoBusinessReview. – 2025. – URL: <https://www.autobiz.ru/analytics/avtozapchasti-2025> (дата обращения: 15.03.2026).
- [2]. Маркетплейсы vs специализированные сайты: где россияне покупают автозапчасти // CNews Analytics. – 2025. – URL: <https://www.cnews.ru/reviews/avto2025> (дата обращения: 15.03.2026).
- [3]. Мировой рынок e-commerce автозапчастей: прогноз до 2035 года // [MarketResearch.ru](https://www.marketresearch.ru/auto-parts-ecommerce). – 2026. – URL: <https://www.marketresearch.ru/auto-parts-ecommerce> (дата обращения: 15.03.2026).
- [4]. Разработка мобильных приложений для ритейла: современные подходы / Под ред. А.Н. Петрова. – СПб.: Питер, 2024. – 312 с.

*И.А. Козловский, студ.; рук. М.А. Свириденкова, к.т.н., доцент
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ

Составление учебного расписания относится к числу наиболее сложных задач образовательного планирования, поскольку требует одновременного согласования учебных групп, преподавателей, дисциплин, аудиторного фонда и временных интервалов. В литературе задача рассматривается как задача распределения ограниченных ресурсов при наличии большого числа обязательных и предпочтительных условий [1, 2, 3].

Практическая значимость данной задачи определяется тем, что от качества расписания зависят равномерность учебной нагрузки, отсутствие конфликтов по времени, степень использования аудиторий и удобство работы преподавателей и студентов. Поэтому требуется не только построить допустимое расписание, но и выбрать из множества допустимых решений наиболее рациональное [1, 3, 4].

Рассмотрим формализацию задачи составления расписания. Пусть E – множество занятий, G – множество учебных групп, P – множество преподавателей, R – множество аудиторий, T – множество временных слотов. Для каждого занятия $e \in E$ задаются группа $g(e)$, преподаватель $p(e)$, тип занятия $k(e)$ и требуемая вместимость $n(e)$. Тогда двоичная переменная $x(e, t, r)$ принимает значение 1, если занятие e назначено в слот $t \in T$ и аудиторию $r \in R$, и 0 в противном случае.

$x(e, t, r) = 1$, если занятие e назначено в слот t и аудиторию r ; 0 – в противном случае.

$$\begin{aligned}\sum_{(t \in T)} \sum_{(r \in R)} x(e, t, r) &= 1, \quad e \in E, \\ \sum_{(e: g(e)=g)} \sum_{(r \in R)} x(e, t, r) &\leq 1, \quad g \in G, t \in T, \\ \sum_{(e: p(e)=p)} \sum_{(r \in R)} x(e, t, r) &\leq 1, \quad p \in P, t \in T.\end{aligned}$$

Первое ограничение означает, что каждое занятие должно быть назначено ровно один раз. Второе и третье ограничения исключают конфликты по учебным группам и преподавателям. Аналогично вводится ограничение по аудиториям: в один и тот же временной слот одна аудитория не может быть назначена более чем на одно занятие. Тем самым формируется система жестких ограничений, определяющих допустимость решения.

Кроме жестких ограничений, используются мягкие ограничения, характеризующие качество расписания: число «окон», равномерность нагрузки по дням недели, нежелательность поздних занятий, переходы между корпусами

и учет предпочтений преподавателей. В этом случае задача сводится к минимизации суммарного штрафа:

$$F(x) = w_1W_1 + w_2W_2 + w_3W_3 + w_4W_4 + w_5W_5,$$

где W_i – величина нарушения i -го критерия качества, а w_i – его весовой коэффициент. Такая запись позволяет на языке введенных обозначений описать не только допустимость расписания, но и степень его предпочтительности [1, 4].

Для решения задачи составления расписания в вузе используются методы, которые можно разделить на последовательные, эвристические и методы целочисленного линейного программирования; на практике также применяются их комбинированные варианты [1, 2, 3]. Последовательные методы пошагово размещают дисциплины в сетке часов до заполнения расписания. Эвристические методы не имеют универсальной строгой схемы, но обеспечивают приемлемое качество решения; например, сначала могут назначаться занятия с наибольшим числом конфликтов по времени. Методы целочисленного линейного программирования позволяют задать переменные, ограничения и критерий качества в единой формальной модели [1, 2, 3].

Сравнительная характеристика указанных подходов приведена в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика методов составления расписания

Метод	Содержание	Преимущества	Ограничения
Последовательные методы	Занятия последовательно размещаются в сетке расписания по выбранному правилу назначения	Простота реализации и высокая скорость построения начального варианта	Ранние назначения могут ухудшать итоговое качество расписания
Эвристические методы	Используются правила выбора и локального улучшения; приоритет получают наиболее конфликтные занятия	Хорошо работают в практических системах и позволяют быстро улучшать решение	Не гарантируют нахождение глобально оптимального расписания
Методы целочисленного линейного программирования	Задача задается системой бинарных переменных, линейных ограничений и целевой функцией	Обеспечивают строгую формализацию и позволяют учитывать множество ограничений одновременно	При росте размерности задачи существенно возрастают вычислительные затраты
Комбинированные методы	Сочетают формальную модель, декомпозицию, эвристики и оценку штрафов	Обеспечивают баланс между качеством решения и временем построения расписания	Требуют выбора структуры алгоритма и настройки параметров оценки

Данные табл. 1 показывают, что последовательные методы удобны прежде всего как средство получения начального варианта расписания. Их достоинством является простота, однако качество результата во многом зависит от порядка назначения занятий. По этой причине такие методы чаще рассматриваются как первый этап построения решения, а не как самостоятельный универсальный инструмент [2, 3].

Эвристические методы являются наиболее практико-ориентированными. Они позволяют учитывать реальные особенности учебного процесса, быстро перестраивать расписание и улучшать уже найденный вариант. Вместе с тем отсутствие гарантии глобального оптимума делает необходимым использование критериев оценки качества и процедур последующей корректировки [1, 2, 4].

Методы целочисленного линейного программирования обладают наибольшей строгостью, поскольку позволяют описать задачу в виде единой формальной модели. Однако при большом числе групп, преподавателей, аудиторий и временных слотов такая модель становится слишком крупной. Поэтому на практике наибольший интерес представляют комбинированные подходы, объединяющие формализацию, штрафную функцию и эвристический поиск [1, 3, 4].

Важно отметить, что выбор метода зависит не только от теоретической строгости модели, но и от структуры исходных данных конкретного вуза. Если число конфликтов по аудиториям и преподавателям велико, то возрастает роль эвристических правил приоритета и поэтапного построения решения. Если же структура учебного плана устойчива и число ограничений заранее формализовано, то более эффективными оказываются методы, основанные на строгой оптимизационной модели [1, 3].

Кроме того, при оценке качества расписания необходимо учитывать не один, а несколько критериев одновременно. Расписание, в котором отсутствуют прямые конфликты, еще не является удобным: оно может содержать большие перерывы между занятиями, неравномерную нагрузку по дням недели и неэффективное использование аудиторий. Поэтому штрафная функция выступает связующим звеном между формальной моделью и практическими требованиями учебного процесса [1, 4].

Таким образом, задача составления учебного расписания требует сочетания формальной модели и алгоритмических процедур, ориентированных на реальные ограничения образовательной организации. Наиболее рациональным является подход, при котором формализация задает допустимую область решений, а эвристические и комбинированные методы обеспечивают получение качественного расписания за приемлемое время.

С практической точки зрения современные системы составления расписания должны поддерживать не только построение базового варианта, но и его оперативную корректировку при изменении учебной нагрузки, состава преподавателей, доступности аудиторий и других исходных параметров. В таких условиях особенно важны методы, позволяющие быстро перестраивать решение

без полного пересчета всей модели. Это повышает устойчивость расписания и делает его пригодным для реальной эксплуатации в информационной системе вуза [1, 2, 4].

Следовательно, эффективность метода определяется не только строгостью описания ограничений, но и удобством его применения в конкретной образовательной организации. Последовательные и эвристические процедуры обеспечивают быстроту построения и адаптации расписания, а формальные оптимизационные модели позволяют контролировать допустимость и качество решения. Поэтому обзор подходов подтверждает целесообразность использования комбинированных методов как сбалансированного варианта автоматизации процесса составления учебного расписания [1, 3, 4].

Дополнительным аргументом в пользу комбинированных подходов является возможность учитывать как жесткие, так и мягкие ограничения в рамках единой процедуры поиска решения. На первом этапе может быть сформировано допустимое расписание без конфликтов, а на втором этапе выполняется его локальное улучшение по штрафной функции. Такой способ особенно удобен для вузов, где требуется одновременно соблюдать учебные планы, учитывать загруженность преподавателей и рационально использовать аудиторный фонд [1, 2, 4].

Тем самым задача составления расписания выступает не только как формальная задача оптимизации, но и как задача поддержки управленческих решений. Чем полнее модель отражает реальные условия организации учебного процесса, тем выше практическая ценность получаемого результата. Поэтому дальнейшее развитие методов связано с повышением гибкости моделей, расширением системы критериев качества и интеграцией алгоритмов составления расписания в цифровые сервисы образовательной организации [1, 3, 4].

Перспективным направлением является также использование адаптивных алгоритмов, способных учитывать накопленные данные о ранее построенных расписаниях и типовых конфликтах. Это позволяет не только ускорять построение новых вариантов, но и повышать согласованность решений в повторяющихся учебных циклах. В результате задача составления расписания приобретает значение важного элемента цифрового управления образовательным процессом, а выбор метода становится частью общей стратегии автоматизации деятельности вуза [1, 2, 3].

Литература

- [1]. Аничкин, А. С. Современные модели и методы теории расписаний / А. С. Аничкин, В. А. Семенов // Труды Института системного программирования РАН. - 2014. - Т. 26, № 3. - С. 5-50.
- [2]. Бабкина, Т. С. Задача составления расписаний: решение на основе многоагентного подхода / Т. С. Бабкина // Бизнес-информатика. - 2008. - № 1(3). - С. 23-28.
- [3]. Шишканова, Т. А. Алгоритм оптимизации учебного расписания в вузе / Т. А. Шишканова // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2015. - № 1. - С. 416-422.
- [4]. Самсонова, Н. В. Составление расписания в высшем учебном заведении: математические методы и программные продукты / Н. В. Самсонова, А. Б. Симонов // E-Management. - 2018. - № 1. - С. 60-69.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОТОКОЛА MCP В ЭКОСИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ

Недавний всплеск популярности приложений на базе больших языковых моделей (LLM) сформировал новые требования к операционной совместимости, модульности и расширяемости. В качестве перспективного стандарта для удовлетворения этих потребностей появился Model Context Protocol (MCP), предлагающий легковесный интерфейс для взаимодействия клиентов, серверов и внешних ресурсов. MCP определяет гибкий механизм описания, обнаружения и вызова внешних возможностей внутри операционного контекста модели.

Model Context Protocol (MCP) – это развивающийся открытый стандарт для подключения приложений на базе больших языковых моделей (LLM) к внешним источникам данных, инструментам и сервисам [1–3]. Он служит «слоем стандартизации», который позволяет LLM взаимодействовать с актуальными данными и API подобно тому, как порт USB-C соединяет компьютер с периферийными устройствами [3].

В рамках MCP ИИ-приложение рассматривается как MCP-хост (MCP Host), который может «монтировать» внешние MCP-серверы через одного или нескольких MCP-клиентов [4]. Каждый MCP-сервер предоставляет подключенной ИИ-системе: Контекстные ресурсы (данные); Промпты (шаблоны); Инструменты (функции).

Это позволяет модели безопасно извлекать свежую информацию и инициировать выполнение действий [5]. Например, MCP-сервер может предоставлять инструмент `weather/current` (текущая погода) или ресурс `database/schema` (схема базы данных); MCP-клиент ИИ-приложения обнаруживает эти возможности и интегрирует их в инструментарий модели [6, 8].

MCP построен на основе парадигмы «клиент-сервер», использующей протокол обмена сообщениями JSON-RPC 2.0 с сохранением состояния (stateful) [1, 9]. Вместо того чтобы быть монолитным фреймворком, MCP предоставляет структурированный способ для приложений, оснащенных LLM, обнаруживать внешние ресурсы, получать к ним доступ и координировать их работу.

Этот дизайн отражает общую тенденцию рассмотрения LLM не только как генераторов текста, но и как оркестраторов, взаимодействующих с разнородными инструментами и сервисами.

Архитектура MCP построена вокруг клиент-серверной парадигмы, использующей сессионное (stateful) взаимодействие на базе протокола JSON-RPC 2.0 [1, 9]. MCP не является монолитным фреймворком; вместо этого он предлагает структурированный способ, с помощью которого приложения,

оснащенные LLM, могут обнаруживать внешние ресурсы, получать к ним доступ и координировать их работу.

Такой дизайн отражает общую тенденцию восприятия LLM не только как генераторов текста, но и как оркестраторов, взаимодействующих с гетерогенными (разнородными) инструментами и сервисами. Как показано на Рисунке 1, ключевые компоненты архитектуры включают:

МСР-хост (Приложение): Приложение, оснащенное LLM (например, Claude Desktop, чат-интерфейс или плагин для IDE), которое инициирует соединения с серверами. Хост создает отдельный МСР-клиент для каждого сервера, к которому он подключается [2, 4].

1) МСР-клиент: Объект клиента, встроенный в хост и отвечающий за соединение «один к одному» с МСР-сервером. Если хост подключается к n серверам, у него будет n экземпляров МСР-клиентов.

2) МСР-сервер: Служба (локальная или удаленная), предоставляющая контекстные данные и исполняемые инструменты [3, 5]. Серверы могут запускаться локально через транспорт stdio или в облачной инфраструктуре через потоковый HTTP [9].

3) Обработчик контекста (опционально): Некоторые продвинутые агентные фреймворки внедряют высокоуровневый обработчик, который направляет запросы к наиболее подходящему серверу в зависимости от предметной области запроса [10].

Пример: если пользователь просит «обобщить последние заявки в техподдержку», обработчик может направить запрос к серверу, подключенному к базе данных компании. И наоборот, запрос типа «сгенерируй UML-диаграмму из этого фрагмента кода» будет отправлен серверу анализа кода или плагину IDE.

Обобщая логику маршрутизации, обработчик позволяет хосту беспрепятственно обрабатывать разнородные запросы без необходимости прописывать, какой именно сервер должен быть вызван.

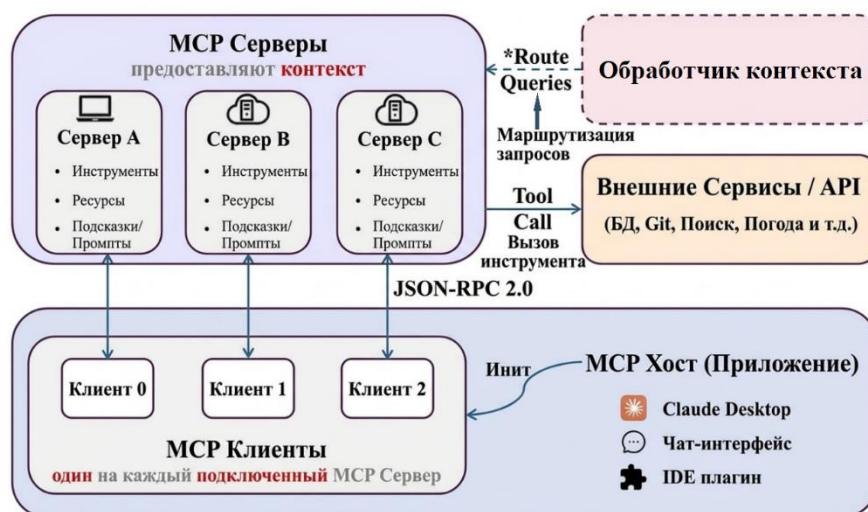


Рис. 1. Типовая Архитектура МСР

Таблица 1 – Сравнительный анализ подходов к интеграции внешних ресурсов в LLM-приложения

Характеристика	Традиционная интеграция	Интеграция на базе протокола MCP
Архитектура	Жесткая связь между кодом приложения и API.	Децентрализованная (Host-Client-Server) с возможностью быстрого подключения.
Масштабируемость	Требуется написание нового кода для каждого нового источника данных.	Добавление новых серверов происходит через стандартный интерфейс без изменения ядра хоста.
Формат данных	Разнородные форматы (REST, GraphQL, SOAP), требующие парсинга.	Унифицированный JSON-RPC 2.0 со строгой схемой ресурсов и инструментов.
Безопасность	Индивидуальная настройка прав для каждого коннектора.	Изолированное исполнение на стороне сервера с четко ограниченным набором инструментов.
Обнаружение функций	Статическое (описывается разработчиком в коде).	Динамическое – клиент сам опрашивает сервер о его возможностях.

Рабочий процесс MCP описывает сквозной шаблон взаимодействия, с помощью которого LLM через своего клиента устанавливает соединения, обнаруживает инструменты и вызывает функции сервера для выполнения запросов пользователя.

Инициализация: LLM, действуя на основании инструкции пользователя на естественном языке, делегирует выполнение MCP-клиенту. Клиент инициализирует соединение, обменивается с сервером версиями протокола и наборами возможностей, а также подписывается на уведомления [2, 4].

Обнаружение: после инициализации клиент выполняет обнаружение инструментов и ресурсов (например, через запросы `tools/list` или `resources/list`) [5, 6].

Регистрация: Хост-приложение объединяет полученные списки в единый реестр инструментов, к которому LLM может обращаться при принятии решения о том, как лучше выполнить запрос пользователя.

Выполнение задачи: когда пользователь ставит задачу (например, «найди последние научные статьи» или «составь резюме документа»), LLM выбирает подходящий инструмент и инициирует его выполнение, отправляя запрос `tools/call` с указанием URI инструмента и необходимых аргументов.

Обработка на сервере: Сервер выполняет соответствующую функцию (например, опрашивает базу данных или выполняет поиск в веб-сети) и возвращает структурированный ответ [3, 8].

Завершение: Полученный ответ обрабатывается моделью и представляется пользователю на естественном языке.

Кроме того, серверы могут отправлять уведомления в режиме реального времени, если их доступные примитивы изменяются. Это гарантирует, что и LLM, и пользователь всегда работают с актуальным состоянием инструментов [9].

Развертывание и реализация MCP. Для адаптации к различным сценариям использования MCP опирается на два транспортных уровня:

stdio: используется для локальных серверов, обеспечивая связь с минимальной задержкой без сетевых накладных расходов.

HTTP/S (с поддержкой Server-Sent Events): используется для удаленных серверов, поддерживая потоковую передачу данных и стандартные механизмы аутентификации [2, 4].

Помимо способов транспортировки, MCP по своей природе является сессионным протоколом: после инициализации клиент и сервер поддерживают активную сессию, что позволяет выполнять множество RPC-вызовов через один и тот же канал связи [3]. Такой дизайн позволяет ИИ-приложениям буквально «переносить свой контекст» между различными инструментами и средами, обеспечивая бесшовную совместимость в разнородных экосистемах [3].

На этом фундаменте возникли различные варианты реализации, расширяющие возможности ядра MCP:

Агентные фреймворки: некоторые проекты дополняют протокол продвинутыми функциями, такими как разрешение пространств имен или создание децентрализованных сетей данных [10].

Логика рассуждений: другие реализации встраивают механизмы «размышления», делегируя уточняющие подвопросы обратно модели для детализации задачи [6, 8].

Несмотря на эти различия, все реализации придерживаются единых базовых принципов: рукопожатия, обнаружения, выполнения и уведомлений, которые и составляют основу MCP.

Таким образом, в ходе проведенного исследования были рассмотрены особенности архитектуры и практического применения протокола MCP как нового стандарта взаимодействия больших языковых моделей с внешними информационными средами. Проведенный анализ продемонстрировал, что переход от монолитных систем к модульной клиент-серверной модели позволяет значительно снизить барьеры при разработке интеллектуальных сервисов и обеспечить высокую степень совместимости между различными программными продуктами. Использование транспортных уровней stdio и HTTP в сочетании с протоколом JSON-RPC 2.0 создает гибкую основу для безопасного извлечения данных и вызова внешних функций в режиме реального времени. Таким образом, внедрение MCP способствует трансформации нейросетевых моделей из

изолированных генераторов контента в полноценные оркестраторы сложных ИТ-экосистем, способные эффективно оперировать актуальной информацией и координировать работу разнородных сервисов в рамках единого контекстного пространства.

Литература

- [1]. R. T. Fielding, “Architectural styles and the design of network-based software architectures,” Ph.D. dissertation, University of California, Irvine, 2000. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/top.htm> (дата обращения: 10.03.2026).
- [2]. Model Context Protocol, “Specification – model context protocol,” June 18 2025. [Электронный ресурс]. – URL: <https://modelcontextprotocol.io/specification/2025-06-18> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. F. Tajwar, A. Singh, A. Sharma, R. Rafailov, J. Schneider, T. Xie, S. Ermon, C. Finn, and A. Kumar, “Preference fine-tuning of llms should leverage suboptimal, on-policy data,” in Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning, 2024. [Электронный ресурс] – URL: <https://arxiv.org/abs/2404.14367> (дата обращения: 10.03.2026).
- [4]. T. Cai, X. Wang, T. Ma, X. Chen, and D. Zhou, “Large language models as tool makers,” 2024. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2305.17126> (дата обращения: 10.03.2026).
- [5]. Glama.ai, “Glama mcp developer documentation,” 2024. [Электронный ресурс]. – URL: <https://glama.ai/mcp/servers> (дата обращения: 10.03.2026).
- [6]. U. Iqbal, T. Kohno, and F. Roesner, LLM Platform Security: Applying a Systematic Evaluation Framework to OpenAI’s ChatGPT Plugins. AAAI Press, 2025, p. 611–623. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2309.10254> (дата обращения: 10.03.2026).
- [7]. S. Yao, J. Zhao, D. Yu, N. Du, I. Shafran, K. Narasimhan, and Y. Cao, “React: Synergizing reasoning and acting in language models,” 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2210.03629>
- [8]. T. Schick, J. Dwivedi-Yu, R. Dessí, R. Raileanu, M. Lomeli, E. Hambro, L. Zettlemoyer, N. Cancedda, and T. Scialom, “Toolformer: language models can teach themselves to use tools,” in Proceedings of the 37th International Conference on Neural Information Processing Systems, 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2302.04761> (дата обращения: 10.03.2026).
- [9]. J.-R. W. Group, “Json-rpc 2.0 specification,” 2013, [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.jsonrpc.org/specification> (дата обращения: 10.03.2026).
- [10]. X. Liu, H. Yu, H. Zhang, Y. Xu, X. Lei, H. Lai, Y. Gu, H. Ding, K. Men, K. Yang, S. Zhang, X. Deng, A. Zeng, Z. Du, C. Zhang, S. Shen, T. Zhang, Y. Su, H. Sun, M. Huang, Y. Dong, and J. Tang, “Agentbench: Evaluating llms as agents,” 2023. [Электронный ресурс]. – URL: <https://arxiv.org/abs/2308.03688> (дата обращения: 10.03.2026).

ПРОМПТ-ИНЖИНИРИНГ КАК НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОГРАММИРОВАНИЯ: ОТ ЭКСПЕРИМЕНТА К ИНЖЕНЕРНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Генеративный искусственный интеллект прочно вошёл в индустрию: модели вроде GPT-5, YandexGPT и GigaChat автоматизируют рутинные задачи, генерируют контент и пишут код. Ключевым интерфейсом взаимодействия с ними стал промпт – инструкция на естественном языке, направляющая поведение модели. То, что начиналось как простое общение с чат-ботом, сегодня превращается в сложную инженерную деятельность, включающую проектирование, тестирование и мониторинг промптов. Возникает закономерный вопрос: можно ли считать написание промптов формой программирования? Исследования последних двух лет показывают, что разработка качественных промптов требует системного подхода – итеративного уточнения, модульности, учёта контекста и даже юнит-тестирования. Однако в отличие от традиционного кода промпт остаётся вероятностным и крайне чувствительным к мельчайшим изменениям формулировок, что порождает уникальные вызовы для программной инженерии и открывает дискуссию о месте промпт-инжиниринга в иерархии инженерных дисциплин.

Для понимания сути происходящего сдвига необходимо сопоставить две парадигмы по ряду фундаментальных оснований. Традиционное программирование оперирует формальными языками, такими как Python, Java или C++, которые обладают строгим синтаксисом и однозначной семантикой. Компилятор или интерпретатор выполняет команды детерминированно: одинаковая программа при одинаковых входных данных всегда даёт одинаковый результат, что обеспечивает надёжность и предсказуемость. Промпт-инжиниринг использует естественный язык, который по своей природе неоднозначен, метафоричен и контекстно-зависим. Среда исполнения – это большая языковая модель, которая является вероятностной (даже при фиксированном промпте результаты могут различаться из-за стохастичности генерации или обновлений модели на стороне провайдера). Вместо жёсткой детерминированности используется распределение вероятностей на множестве возможных ответов, что сближает промпт-программирование с программированием на квантовых компьютерах.

В классическом программировании единицей является строка кода, функция или класс, подчиняющиеся законам композиции и модульности. В промпт-инжиниринге единицей выступает промпт – это текст, который может включать инструкцию, контекст, примеры и указания на формат вывода. Процесс разработки носит эмпирический характер, когда инженер формулирует гипотезу, тестирует её на модели, анализирует результат и уточняет промпт. Алгоритмическая модель традиционного программирования предполагает

точную последовательность шагов, тогда как промпт-инжиниринг основан на распознавании образов и генерации, в этом случае разработчик не пишет алгоритм, а демонстрирует желаемый паттерн через примеры few-shot или описывает целевую функцию, полагаясь на способность модели обобщать и достраивать [1].

Современный промпт-инжиниринг обладает богатым арсеналом техник, которые можно рассматривать как аналоги алгоритмических конструкций. Zero-shot и few-shot промптинг являются аналогом вызова функции с параметрами: в первом случае модель получает только задание; во втором – ещё и несколько примеров правильных ответов, задающих желаемый стиль и структуру. Инструктивный промптинг предполагает чёткое формулирование роли, задачи, ограничений и формата вывода, что соответствует заданию контракта функции. Chain-of-Thought предлагает модели рассуждать вслух, генерируя промежуточные шаги перед финальным ответом, что повышает точность на задачах, требующих логики и математики. Self-Consistency использует генерацию нескольких цепочек рассуждений и выбор наиболее часто встречающегося ответа, подобно мажоритарному голосованию. Tree of Thoughts расширяет этот подход, заставляя модель генерировать несколько вариантов рассуждений на каждом шаге и оценивать их. Retrieval-Augmented Generation дополняет промпт информацией из внешней базы знаний, позволяя модели опираться на актуальные данные и снижая «галлюцинации», что аналогично обращению к базе данных. Automatic Prompt Engineering использует саму модель для генерации и оценки вариантов промптов, а инструменты вроде DSPy позволяют описывать задачу на высоком уровне, приближая промпт-инжиниринг к декларативному программированию.

Переход от отдельных промптов к промышленным решениям требует системного управления их жизненным циклом, что породило новую дисциплину PromptOps. Ключевой принцип DevOps – это автоматизация жизненного цикла программного обеспечения, который постепенно переносится на управление промптами. Если в DevOps объектом управления является код и инфраструктура, то в PromptOps – это промпты, их версии, контекст и параметры модели. Жизненный цикл включает Prompt CI/CD: тестирование промптов, A/B тесты и мониторинг качества генераций [2]. Основные компоненты PromptOps включают версионирование промптов с возможностью отката и экспериментирования, тестирование с использованием наборов тестовых кейсов, автоматическую проверку качества по метрикам точности и полноты, A/B тестирование эффективности разных промптов на реальных пользователях, мониторинг «дрифта» для отслеживания изменений в поведении модели со временем и управление контекстом (таблица 1). Примерами инструментов служат Microsoft Prompt Flow, LangSmith и OpenLayer. Концепция Promptware описывает класс программных продуктов, ключевая логика которых реализована через промпты, а не через традиционный код. Отладка требует новых подходов, основанных на логировании, визуализации цепочек рассуждений и анализе распределений

ответов, а эволюция подразумевает механизмы непрерывной адаптации, подобные CI/CD для моделей машинного обучения [3].

Таблица 1 – Сравнение DevOps и PromptOps

Характеристика	DevOps (традиционный)	PromptOps
Объект управления	Исходный код, конфигурации, инфраструктура	Промпты, их версии, контекст, параметры модели
Жизненный цикл	CI/CD (непрерывная интеграция и доставка)	Prompt CI/CD (тестирование промптов, A/B тесты, мониторинг качества генераций)
Ключевые проблемы	Ошибки в коде, конфликты слияния, простои	Нестабильность генераций, «дрифт» промптов (ухудшение качества со временем), отсутствие стандартов
Инструменты	Git, Jenkins, Docker, Kubernetes	Системы версионирования промптов, платформы для A/B тестирования промптов (например, Prompt flow), инструменты мониторинга LLM

Стремительный рост востребованности промпт-инжиниринга привёл к формированию новой профессиональной роли. Анализ вакансий на платформах hh.ru, LinkedIn и Indeed показывает экспоненциальный рост упоминаний prompt engineer и AI interaction designer в 2023-2026 годах. Если в 2022 году это была экзотическая ниша, то сегодня крупные компании, включая Яндекс, Сбер, Т-банк, OpenAI и Microsoft, открывают штатные позиции для промпт-инженеров. Зарплатные ожидания в этой сфере сопоставимы с зарплатами middle-разработчиков, а в некоторых случаях превышают их из-за дефицита квалифицированных кадров. Анализ вакансий позволяет выделить ключевые компетенции промпт-инженера: глубокое понимание работы LLM, включая архитектуру трансформера, механизм внимания, токенизацию и параметры генерации; лингвистическая компетенция, предполагающая чувство языка и умение формулировать однозначные инструкции; навыки программирования на Python для работы с API LLM; аналитическое мышление для проектирования экспериментов и интерпретации результатов, знание инструментов PromptOps; а также предметная экспертиза в конкретной области, будь то юриспруденция, медицина или финансы.

Университеты и онлайн-платформы активно реагируют на запрос рынка. Coursera, Udemy и Skillbox предлагают специализированные курсы с практическими заданиями и кейсами. DeepLearning.AI совместно с OpenAI выпустил курс «ChatGPT Prompt Engineering for Developers», ставший одним из самых популярных. Появляются профессиональные сертификации от компаний PromptBase и AI Certification Board, подтверждающие уровень владения

техниками промптинга. Промпт-инженер сегодня может развиваться как вглубь, становясь экспертом по конкретным моделям и техникам, так и вширь, переходя в разработку AI-продуктов или становясь архитектором гибридных систем. Многие компании рассматривают эту роль как входную точку для позиций ML-инженера или AI-продукт-менеджера. Ожидается, что в ближайшие три-пять лет профессия станет такой же стандартной, как DevOps-инженер. Однако институционализация сталкивается с вызовами: отсутствие единого профессионального стандарта, быстрое устаревание знаний, когда техники, работавшие год назад, становятся неэффективными с выходом новых моделей, и сложность оценки результатов, требующая метрик и бенчмарков.

Несмотря на впечатляющие успехи, парадигма промпт-инжиниринга сталкивается с рядом фундаментальных ограничений. Хрупкость промптов проявляется в том, что малейшее изменение формулировки может привести к кардинально иному, часто ошибочному результату, что делает промпты непригодными для критических систем без дополнительных механизмов контроля. Проблема дрейфа заключается в том, что модели на стороне провайдера обновляются без предупреждения, и промпт, отлично работавший месяц назад, может начать давать сбои на новой версии, требуя постоянного мониторинга и адаптации. Отсутствие стандартов и метрик создаёт ситуацию, где нет устоявшихся критериев качества промпта. Что важнее, невозможно измерить точность, полноту или креативность ответа. Безопасность и уязвимости проявляются при использовании промпт инъекций, когда злоумышленник может сломать исходную инструкцию и заставить модель выполнять нежелательные действия, что требует новых подходов к защите [4]. Наконец, этические и правовые аспекты остаются нерешёнными: вопрос о том, кто несёт ответственность за вред, причинённый генерацией модели – разработчик промпта или провайдер, данный вопрос до сих пор не урегулирован законодательно.

Развитие промпт-инжиниринга как парадигмы будет идти по нескольким направлениям. Автоматизация и инструментализация предполагают появление платформ, автоматически оптимизирующих промпты под заданные метрики, что приблизит промпт-инжиниринг к традиционному программированию, где компилятор берёт на себя рутинную оптимизацию. Стандартизация приведёт к формированию промышленных стандартов на форматы промптов, метрики качества и протоколы тестирования. Интеграция с классической разработкой сделает нормой гибридные системы, где бизнес-логика реализована на традиционных языках, а сложные языковые функции делегируются LLM через тщательно спроектированные промпты. Образовательная революция выразится во включении промпт-инжиниринга в обязательные курсы по программной инженерии, а возможно, и в появлении отдельных кафедр инженерии взаимодействия с ИИ.

Промпт-инжиниринг перерос рамки простого общения с чат-ботом и превращается в новую парадигму программирования, требующую переосмысления фундаментальных понятий программной инженерии – от языка

и отладки до эксплуатации и безопасности. Возникновение дисциплин PromptOps и концепции Promptware свидетельствует о зрелости подхода и его интеграции в реальный сектор. Одновременно формируется новая профессия – промпт-инженер, которая в ближайшие годы станет полноценной специальностью с собственными образовательными стандартами, сертификацией и карьерными траекториями. Дальнейшие исследования должны быть направлены на преодоление хрупкости промптов, разработку стандартов качества, создание инструментов автоматизации и решение этических проблем. Промпт-инжиниринг не отменяет классическое программирование, но создаёт над ним новый абстрактный слой, позволяющий эффективно использовать мощь больших языковых моделей для решения задач, ранее требовавших человеческого интеллекта.

Литература

- [1]. Ковалевский, А. В. (2025). Модель коммуникации с искусственным интеллектом ДРУГ как методологический подход к составлению и оценке промптов. *Научные и технические библиотеки*, (7), 142–163. doi.org/10.33186/1027-3689-2025-7-142-163
- [2]. Syahputri, I. W., Budiardjo, E. K., & Putra, P. O. H. (2025). Unlocking the Potential of the Prompt Engineering Paradigm in Software Engineering: A Systematic Literature Review. *AI (Switzerland)*, 6(9), 206. DOI: 10.3390/ai6090206
- [3]. Клюковкин, Г. К. (2025). Эволюция инженерных практик в эпоху GenAI: от DevOps к PromptOps. *Международный научный журнал "ВЕСТНИК НАУКИ"* №7(88), 291-302. DOI: 10.24412/2712-8849-2025-788-291-302
- [4]. Шайхелисламов, Д. С., Дробышевский, М. Д., & Белеванцев, А. А. (2025). Интерактивная генерация кода на основе LLM: эмпирическая оценка. *Труды Института системного программирования РАН*, 37(5), 123–130. DOI: 10.15514/ISPRAS-2025-37(5)-9

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ БЕСКОНТАКТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ УПРАВЛЕНИЯ

Автоматизация взаимодействия человека с цифровыми системами является ключевым вектором технологического прогресса. Традиционные устройства ввода (мышь, клавиатура) в ряде современных сценариев оказываются неэффективными или ограничивающими. Актуальность разработки бесконтактных интерфейсов (Natural User Interfaces, NUI) продиктована вызовами промышленного сектора и требованиями санитарной безопасности [1]. В условиях высокотехнологичного производства операторы часто работают в защитном снаряжении, что делает невозможным использование стандартных сенсорных панелей [3]. В медицинских условиях бесконтактный ввод является единственным способом обеспечить стерильность при работе с данными.

Особую техническую актуальность представляет концепция Edge AI – перенос нейросетевых вычислений на автономные периферийные модули. Использование SoC Rockchip RK3566 с интегрированным нейропроцессором (NPU) позволяет реализовать построение скелета ладони непосредственно на устройстве захвата, разгружая ресурсы управляемого ПК [7]. Данные тезисы определяют актуальность сравнительного анализа архитектур нейронных сетей для реализации устройств распознавания жестов.

Цель исследования Целью исследования является детальный анализ и сравнение пяти современных нейросетевых архитектур для определения оптимального программного решения, обеспечивающего точную эмуляцию функций тачпада.

Анализ рассматриваемых архитектур

I. MediaPipe Hands (Google). Данное решение использует уникальный двухэтапный конвейер инференса. Согласно исследованиям Потапова А.С., на первой стадии модель BlazePalm находит ладонь, а на второй – регрессионная сеть вычисляет 21 ключевую точку в 3D-пространстве [2]. Встроенные механизмы временной фильтрации эффективно подавляют «шум» координат, что критично для плавной эмуляции курсора [3].

II. YOLO11 Pose. Архитектура семейства «One-stage» детекторов, объединяющая поиск объекта и детекцию его ключевых точек в единый проход [6]. Модель оптимизирована для работы с тензорными ускорителями RKNN [7]. Однако, в отличие от MediaPipe, она менее эффективна при анализе сложных перекрытий пальцев [4].

III. MoveNet Lightning. Модель от Google, использующая центроидный подход и тепловые карты (heatmaps) [5]. Характеризуется минимальной задержкой инференса. Тем не менее, MoveNet крайне чувствительна к качеству освещения, что снижает надежность в производственных условиях [3].

IV. OpenPose (Lightweight). Модель, реализующая подход Bottom-Up. Обладает эталонной точностью и устойчивостью к окклюзиям [1]. Главным недостатком является избыточная вычислительная сложность, создающая задержки, недопустимые для управления в реальном времени.

V. PoseNet. Архитектура на базе MobileNet. Проста в портировании, но значительно уступает современным аналогам по точности позиционирования (Mean Endpoint Error) [1, 4].

Для формализации данных проведем качественный анализ по критериям, критичным для реализации интерфейса управления (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнительный анализ нейросетевых архитектур

Модель	Ключевые функции	Преимущества	Недостатки
MediaPipe	3D-скелетизация (21 точка).	Высокая точность, стабильность координат.	Умеренная нагрузка на систему.
YOLO11	Детекция позы в один проход.	Высокий FPS на NPU RK3566.	Сложность распознавания жестов пальцев.
MoveNet	Определение суставов по heatmaps.	Минимальная задержка инференса.	Неустойчивость к освещению.
OpenPose	Сборка скелета Bottom-Up.	Устойчивость к перекрытиям.	Крайне высокая нагрузка на систему.
PoseNet	Регрессия точек через MobileNet.	Простота интеграции и поддержки.	Высокий «шум» координат.

Для оценки пригодности моделей в составе ПАК на базе SoC RK3566 воспользуемся моделью качества FURPS (таблица 2).

Таблица 2 – FURPS-анализ технологических решений

Средство	Функциональность	Практичность	Надежность
MediaPipe	Высокая	Высокая	Высокая
YOLO11	Средняя	Средняя	Средняя
MoveNet	Средняя	Высокая	Низкая
OpenPose	Высокая	Низкая	Высокая
PoseNet	Низкая	Высокая	Низкая

В ходе проведенного сопоставительного анализа было установлено, что для реализации системы прецизионного бесконтактного управления решающим фактором является не только общая производительность, но и геометрическая точность позиционирования ключевых точек в динамике. Несмотря на высокие показатели скорости инференса модели YOLO11 на аппаратных ускорителях NPU, архитектура MediaPipe Hands была определена как наиболее эффективное решение для данной задачи. Это обусловлено способностью модели строить детализированный 3D-скелет из 21 контрольной точки ладони, что позволяет интерпретировать сложные жесты, такие как захват или масштабирование, с гораздо большей точностью, чем при использовании упрощенных Pose-моделей. Кроме того, наличие встроенных алгоритмов временной фильтрации в MediaPipe эффективно минимизирует эффект «дрожания» курсора, обеспечивая

стабильность навигации, сопоставимую с использованием физического тачпада. Оптимизация данного фреймворка для ARM-архитектур позволяет достигать необходимой частоты обработки видеопотока при сохранении вычислительных ресурсов для работы сопутствующих программных модулей.

На основе проведенного обзора программно-аппаратных подходов можно сделать вывод, что для разработки комплекса на базе SoC RK3566 оптимальным решением является использование фреймворка MediaPipe Hands. Предложенная концепция Edge AI позволяет полностью вынести вычислительную нагрузку на периферийный модуль, исключая потребление ресурсов основного персонального компьютера оператора. Использование протокола Bluetooth HID обеспечивает универсальность и аппаратную независимость устройства, позволяя интегрировать его в любую современную ОС без установки дополнительных драйверов. Внедрение подобных автономных систем является крайне перспективным для автоматизации рабочих мест в промышленном и медицинском секторах, где требуется соблюдение строгих норм санитарной безопасности и работа в агрессивных средах. Дальнейшее развитие проекта предполагает оптимизацию алгоритмов интерпретации жестов под специфические задачи конкретных производственных циклов.

Литература:

- [1] Сюй, Ц. Исследование методов распознавания динамических жестов на основе сверточных нейронных сетей / Ц. Сюй, Ю. Чжан // Вестник современных цифровых технологий. – 2024. – № 2. – С. 45-52.
- [2] Потапов, А. С. Алгоритмы распознавания поз и жестов на базе фреймворка MediaPipe / А. С. Потапов // Распознавание образов и анализ изображений. – 2022. – № 4. – С. 12-18.
- [3] Широков, К. В. Сравнительный анализ нейросетевых архитектур YOLO и MediaPipe в задачах трекинга рук / К. В. Широков // Информационные технологии в управлении. – 2023. – № 11. – С. 44-50.
- [4] Солем, Я. Компьютерное зрение: современные методы и инструменты / Я. Солем. – СПб.: Питер, 2024. – 368 с.
- [5] MoveNet: Ultra fast and accurate pose detection model. TensorFlow Hub [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tensorflow.org/hub/tutorials/movenet>.
- [6] YOLO11 Pose Estimation – Ultralytics YOLO Docs [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.ultralytics.com/tasks/pose/>.
- [7] Rockchip RK3566 Technical Reference Manual [Электронный ресурс]. – Rockchip Electronics Co., Ltd., 2022. – URL: https://opensource.rock-chips.com/wiki_Main_Page.

КУМУЛЯТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ УЯЗВИМОСТЕЙ СТОРОННИХ БИБЛИОТЕК

Внедрение процессов управления уязвимостями на этапах разработки программного обеспечения приобретает ключевое значение для построения безопасных информационных систем. Специалисты по исследованию кибербезопасности [1] российских компаний Security Vision и ScanFactory подчеркивают, что применение средств анализа состава ПО и инструментов анализа компонентов с открытым исходным кодом позволяет эффективно отслеживать риски сторонних компонентов и библиотек. Такой подход смещает фокус с реагирования на инциденты на проактивное обнаружение уязвимостей, что особенно актуально в условиях современного ландшафта угроз. Как отмечает руководитель направления верификации уязвимостей организации CICADA8, несмотря на существенный прогресс автоматизации обеспечения безопасности, около 35% уязвимостей внешнего периметра все еще требуют глубокой экспертной оценки. Раннее обнаружение потенциальных точек отказа на этапе написания кода или сборки приложения позволяет снизить нагрузку на экспертов и сократить стоимость и время последующего исправления дефектов, исключая их появление в продуктивной среде.

В настоящее время инструменты статического анализа исходного кода и сторонних библиотек активно развиваются. Среди приоритетных направлений можно выделить: повышение внимания к реальной достижимости уязвимостей для снижения доли ложноположительных срабатываний, внедрение возможностей искусственного интеллекта и машинного обучения, интеграцию в конвейеры CI/CD и платформы оркестрации, а также анализ характера данных, передаваемых в уязвимые методы. Большинство отечественных и зарубежных инструментов в рассматриваемой области основано на принципах интеграции в жизненный цикл разработки ПО и использования алгоритмов машинного обучения и ИИ, однако функциональность, связанная с адаптацией процесса оценки на основе ретроспективных данных (результатов предыдущих итераций анализа) и учетом контекста разработки ПО, только начинает развиваться. Целью исследования является разработка подхода к анализу уязвимостей сторонних библиотек программного проекта, основанного на учете влияния предыдущих итераций анализа, контекстных факторов и принципа непрерывности процесса.

Современные SCA-сканеры способны идентифицировать прямые и транзитивные зависимости, оценивают лицензионную совместимость компонентов, анализируют графы вызовов методов библиотек. Вместе с тем, такие факторы, как профиль и опыт разработчика, специфика предметной области проекта, интенсивность изменений кодовой базы или архитектурные особенности, не участвуют в оценке уязвимостей в силу своей эвристической

природы и сложности формализации [2]. Для учета таких аспектов необходим подход, сочетающий анализ ретроспективных данных и применение экспертных знаний. Это позволяет выявлять корреляции между характеристиками проекта и фактической опасностью уязвимостей, а правила, задаваемые специалистом, уточняют эти зависимости под конкретные бизнес-требования. В таком случае реальный риск уязвимости будет определяться не абстрактной потенциальной опасностью, а исходя из контекста существования в программном обеспечении. Говоря о контексте, мы подразумеваем два взаимосвязанных аспекта: статический, характеризующий использование уязвимого кода в текущей версии программы, и динамический, отражающий изменения этого кода во времени. Таким образом, предлагаемый подход представляет собой синтез методов статического анализа программного обеспечения (SAST) и динамического мониторинга метрик разработки (Development Process Metrics).

Концептуальной основой подхода выступает переход от бинарной логики «уязвимость присутствует/отсутствует» к многофакторной модели оценки риска эксплуатации уязвимости в конкретных условиях. Такая модель оперирует не только данными из общедоступных баз уязвимостей, но и информацией, извлекаемой из исходного кода проекта и истории его изменений [3]. Для формализации оценки вводится интегральный показатель риска - взвешенная функция от трёх групп факторов. Во-первых, это базовые атрибуты уязвимости (тип уязвимости по CWE и оценка CVSS). Во-вторых, факторы, определяющие актуальность уязвимости в коде: факт импорта библиотеки, вызов уязвимого метода и характер передаваемых в него данных. В-третьих, факторы динамического контекста - активность разработки: частота изменений в файлах с уязвимой библиотекой, опыт разработчиков, наличие плановых работ над компонентом.

Статическая составляющая методики реализуется через анализ кода: синтаксический разбор с построением абстрактного синтаксического дерева позволяет идентифицировать зависимости, граф вызовов устанавливает факт вызова уязвимого метода, а анализ потоков данных отслеживает происхождение аргументов - от констант до пользовательского ввода. Результат позволяет классифицировать использование библиотеки по степени опасности. Динамическая составляющая учитывает фактор времени: уязвимость в редко изменяемом модуле создаёт стабильный риск, тогда как в активно разрабатываемом коде вероятность её активации или появления новых уязвимостей возрастает. Активность оценивается по метаданным репозитория - частоте коммитов и количеству авторов. Высокие значения означают, что оценку критичности необходимо пересматривать чаще.

Процесс оценки итеративен и встроен в цикл разработки (рисунок 1). Первичная оценка выполняется при обнаружении уязвимости, но ключевое отличие подхода – непрерывный мониторинг контекста. При наступлении событий-триггеров (новый коммит, Pull Request, истечение интервала) уровень критичности пересчитывается, что обеспечивает его актуальность.

Алгоритм может быть реализован в виде матрицы правил «условие-действие», например: «ЕСЛИ уязвимый метод вызывается с пользовательскими данными И модуль критичен, ТО класс риска повышается». Весовые коэффициенты настраиваются эмпирически под конкретный проект. Прозрачность подхода обеспечивается подробным обоснованием итоговой оценки - для специалиста доступна информация, какие факторы и каким образом повлияли на решение. При этом подход не является заменой стандартизированным процессам, а дополняет их, используя общепринятые метрики как основу и корректируя их с учётом контекста.

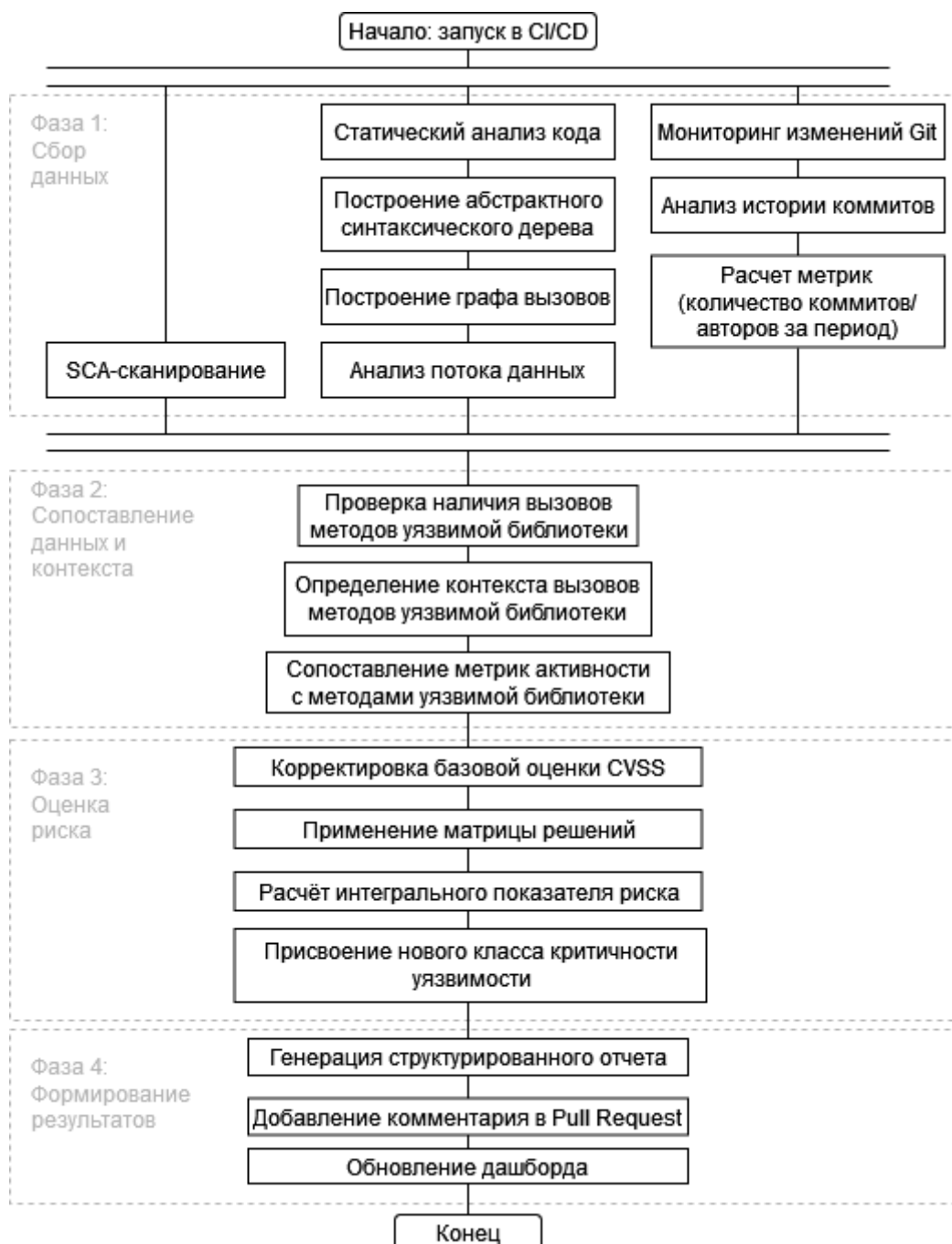


Рисунок 1 – Обобщённая схема подхода к анализу уязвимостей сторонних библиотек

Практическая реализация предложенного подхода способствует построению адаптивной системы приоритизации уязвимостей, изначально интегрированной в DevSecOps-структуру организации. В отличие от классических SCA-решений, формирующих списки найденных CVE, в результате применения кумулятивной модели команда разработки и специалисты безопасности получают ранжированный перечень уязвимостей, оценка которых произведена с учётом специфики проекта. Это сокращает время на триаж инцидентов и позволяет фокусировать внимание на действительно ключевых проблемах безопасности. Кроме того, накопление статистики (например, зависимость между частотой обновления библиотеки и плотностью ошибок в ней) может служить основой для предиктивного анализа - прогнозирования проблем в тех фрагментах кода, которые ещё не подвергались детальной проверке.

Таким образом, были разработаны основные положения подхода к оценке критичности уязвимостей в сторонних зависимостях на основе ретроспективных данных и контекстных факторов. Он формализует переход от необработанных данных об уязвимостях к управленческому решению об их приоритизации, используя статический анализ кода, анализ истории изменений и систему взвешенных правил. Методика закладывает теоретический фундамент для создания программного механизма и обеспечивает гибкость адаптации к различным процессам разработки.

Литература

- [1]. Управление уязвимостями CISOCLUB [Электронный ресурс] // CISOCLUB. 2026. URL: <https://cisoclub.ru/upravlenie-ujazvimosťjami/> (дата обращения: 01.03.26)
- [2]. Басан Е.С., Грицынин А.С., Шулика М.Г., Крючков В.С. Автоматизация процесса анализа угроз информационной безопасности в киберфизических системах // Вопросы кибербезопасности. 2021. №4 (44). С. 35-47.
- [3]. Блинов А.В., Беззатеев С.В. DevSecOps: объединение процессов разработки и безопасности // Вопросы кибербезопасности. №2 (66). 2025. С.78-89.

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Во всех отраслях экономики и социальной сферы неизбежным вектором повышения эффективности деятельности и развития становится применение технологий искусственного интеллекта, предиктивных моделей на основе больших данных, экспертных систем, интернета вещей. Однако наряду с получением преимуществ от интеграции цифровых технологий, сложившаяся информационная архитектура организаций может приобрести новые, зачастую скрытые, уязвимости. Решение таких проблем, как ограниченная масштабируемость действующих информационных систем, ошибки в протоколах обмена данными и адаптация продукта к реальным условиям предметной области на этапе внедрения технологии в функционирующую инфраструктуру может казаться многим руководителям высшего звена достаточными мероприятиями, завершающими этап стратегического развития бизнеса. Тем не менее, опыт крупных корпораций и практические кейсы других компаний показывают, что даже успешно внедренное решение, прошедшее специализированные виды тестирования - интеграционное, регрессионное и тестирование безопасности - может стать точкой уязвимости в системе защиты организации и привести к нарушениям внутренних регламентов и требований законодательства.

Согласно исследованию российской компании Positive Technologies, одного из крупнейших поставщиков решений в сфере информационной безопасности, между интенсификацией цифровизации в России и ростом количества инцидентов ИБ прямая зависимость [1]. При этом масштабное внедрение инновационных технологий, в том числе на основе искусственного интеллекта [2], сопровождается увеличением количества уязвимых точек входа в защищенные системы. Высокие темпы внедрения в совокупности со снижением приоритета задач обеспечения безопасности и устойчивости инфраструктуры – ключевой фактор, создающий благоприятную среду для злоумышленников. Как отмечают эксперты, изменения в информационной архитектуре организации – веская причина для инициации аудита информационной безопасности. В данном контексте процедура аудита становится не формальной проверкой, а инструментом защиты, обеспечивающим оценку преобразованных бизнес-процессов, технологий и сопутствующих рисков, включая человеческий фактор.

Целью данной статьи является разработка структурированного подхода к выявлению уязвимостей, возникающих в результате интеграции новых ИТ-решений. Для ее достижения проводится анализ типичных уязвимостей, возникающих на стыке систем, и определение модели для их эффективного обнаружения и анализа.

Аудит информационной безопасности представляет собой регламентированный процесс оценки уровня защищенности ИТ-инфраструктуры на соответствие целевым показателям [3]. Однако в контексте системной интеграции его можно определить как целенаправленную проверку защищенности интерфейсов и механизмов взаимодействия между внедряемым решением и действующей ИТ-архитектурой, включая аппаратное, программное и организационное обеспечение. На фоне повышенной сложности интеграции и возникновения дополнительных рисков аудит дает объективную информацию об уровне соответствии стандартам и регламентам безопасности. Таким образом, проведение аудита – не реагирование на обнаруженный инцидент, а проактивные меры для выявления уязвимостей.

В рамках исследования были рассмотрены и обобщены уязвимости, характерные для интеграционных процессов в различных системах (таблица 1). Анализ типовых сценариев рисков, возникающих в ходе интеграционных процессов, позволил систематизировать наиболее распространенные уязвимости [4]. Кроме того, критерием отбора послужила критичность последствий инцидентов ИБ, которая проявляется в широком спектре – от нарушения конфиденциальности и целостности данных до полного отказа системы.

При интеграции программно-аппаратных комплексов, таких как ERP или системы контроля доступа (СКУД), одной из регулярно возникающих угроз является несанкционированное повышение привилегий. Причиной возникновения проблемы становится неполное или некорректное сопоставление ролевых моделей в новой системе с действующей матрицей прав в организации. В результате подобной ошибки пользователи могут получить доступ к функциям, которые не входят в рамки их должностных полномочий и потребностей. Рост масштабов использования облачных сервисов, платформ Интернета вещей (IoT) сопровождается повышением числа случаев утечек данных через небезопасные API. Для системных интеграторов и разработчиков приоритетом часто остаются скорость и простота настройки обмена данными, что не способствует привлечению внимания к безопасности интерфейсов. Процессы аутентификации, авторизации, шифрование и валидация входных данных часто второстепенны, что превращает API-шлюзы в удобные каналы для эксфильтрации информации.

Не менее существенным риском является компрометация данных через небезопасные промежуточные компоненты (ESB, ETL-инструменты). Уязвимость возникает вследствие использования предустановленных настроек, отсутствия шифрования на внутренних сегментах и некорректного логирования конфиденциальной информации в самих компонентах, превращая их в единую точку отказа. Наконец, внедрение ресурсоемких систем, таких как платформы больших данных и ИИ, требует обязательной проверки на конфликты ресурсов, поскольку они несут высокий риск провоцирования отказов в обслуживании (DoS). Новое решение может создать непропорционально высокую нагрузку на общую инфраструктуру (сеть, системы хранения, вычислительные кластеры),

приведя к деградации производительности или полному отказу критически важных сервисов.

Таблица 1 – Уязвимости, возникающие при интеграции ИТ-решений

Название уязвимости	Причина возникновения	Внешние проявления	Методы проверки	Время выявления
Эскалация привилегий	Конфликт систем управления доступом; некорректное сопоставление ролей пользователей	Жалобы пользователей на невозможность доступа к функциям; появление у учетных записей несвойственных им прав	Анализ конфигураций систем контроля доступа; тестирование прав пользователей	2-4 дня
Утечка данных через небезопасные API	Использование устаревших или недокументированных API-интерфейсов для обмена между системами	Аномальный исходящий трафик; записи в логах о нестандартных запросах	Тестирование API (белый/черный ящик); анализ журналов взаимодействия систем	3-5 дней
Отказ в обслуживании и из-за конфликта ресурсов	Неадекватная оценка нагрузки, которую новая система создает на общие ресурсы	Замедление работы критичных сервисов; срабатывание систем мониторинга	Стресс-тестирование в тестовой среде; анализ метрик использования ресурсов	5-7 дней
Уязвимость интеграционного шлюза (ESB/API)	Использование промежуточного ПО с настройками по умолчанию, отсутствие шифрования трафика на внутренних сегментах	Аномальная активность на хостах с промежуточным ПО; наличие конфиденциальных данных в логах или файлах конфигурации	Аудит конфигурации промежуточного ПО; анализ правил фильтрации и трансформации данных	3-6 дней

Для выявления латентных уязвимостей, скрытых в сложностях интеграционного процесса, требуется целенаправленный подход. Эффективным решением является применение комбинации документарного и инструментального аудита. Первый вид анализа (аудит политик, регламентов, архитектурных диаграмм) направлен на выявление концептуальных противоречий, второй вид включает в себя сканирование уязвимостей, анализ трафика, тесты на проникновение и призван обнаружить их техническую реализацию. Именно комплексное применение объединяет разрозненные проверки в целостный процесс оценки защищенности ИТ-систем после интеграции.

Проведенный анализ подтверждает, что аудит информационной безопасности после интеграции ИТ-решений является не формальной

рекомендацией, а необходимым элементом жизненного цикла ИТ-инфраструктуры и практикой управления рисками. Важно отметить, что наличие уязвимости в архитектуре не всегда означает возможность её эксплуатации злоумышленником. Аудит ИБ предоставляет объективные данные для количественной оценки реального уровня риска, что служит основой для обоснованных управленческих решений. Без таких данных управление рисками теряет объективную основу, тогда как потенциальный нарушитель получает возможность для целенаправленного исследования наиболее уязвимых точек взаимодействия систем. Типичным препятствием для внедрения данной практики являются воспринимаемые затраты и недостаток осведомленности. Преодолеть это сопротивление позволяет аргументация экономической целесообразности на основе сравнительного анализа стоимости аудита и потенциальных убытков от инцидента.

В результате исследования продемонстрирована взаимосвязь между процессами интеграции и возникновением угроз информационной безопасности. Предложенная модель классификации уязвимостей и методов их выявления служит практическим инструментом для планирования направленного аудита. Установлено, что такой аудит выполняет функцию превентивного, а не реактивного контроля, создавая объективную основу для управления рисками. Его проведение, независимо от выбора исполнителя (внутренние специалисты или внешние эксперты), представляет собой экономически оправданную меру по обеспечению устойчивости бизнес-процессов в условиях цифровой трансформации.

Литература

- [1]. CODE RED 2026: Актуальные киберугрозы для российских организаций [Электронный ресурс] // Positive Technologies. 2025. URL: <https://ptsecurity.com/research/analytics/russia-cyberthreat-landscape-2026/> (дата обращения: 06.12.2025).
- [2]. Дли М. И., Пучков А. Ю., Окунев Б. В., Тищенко И. И. Алгоритм стеганографической защиты информации в видеофайлах на основе диффузионно-вероятностной модели с шумоподавлением // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 3. С. 125–143. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-3-125-143.
- [3]. Макаренко С.И. Аудит информационной безопасности: основные этапы, концептуальные основы, классификация мероприятий // Системы управления, связи и безопасности. 2018. №1. С.1-29.
- [4]. Ефимов А.О. Причины возникновения, классификация и критичность уязвимостей программного обеспечения информационных систем // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2025. Т. 52. №2. С.98-106.

КЛАССИФИКАЦИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ЗАДАЧ И РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ

Современная алгебра используется для описания различных процессов и явлений, происходящих в различных областях жизни – экономика, образование, природа, политика, социология.

Алгебраическая задача – это задача, в которой искомая величина не задана явно в числовом виде, а связана с известными величинами с помощью математических соотношений. В отличие от задач арифметики, в алгебраических задачах имеется одна или несколько неизвестных величин, а выражение, которое необходимо преобразовать, может содержать буквенные переменные. Алгебраические задачи решаются с помощью составления уравнений, неравенств, систем или функций. Решение алгебраической задачи состоит из нескольких этапов.

На первом этапе выбирается величина, которая будет принята за неизвестную, далее осуществляется анализ и рассматриваются связи с другими величинами.

На втором этапе составляется математическая модель по условиям задачи – уравнение, система уравнений или функция, которую необходимо исследовать на монотонность.

Третий этап – непосредственно решение уравнения с помощью математических преобразований.

На последнем этапе осуществляется проверка результата. Полученный в задаче ответ должен всегда иметь смысл. Проверка требуется для исключения посторонних корней, которые могут получаться при решении уравнений. Также проверка помогает избегать локальных минимумов и максимумов при исследовании функций.

Целью данной работы является выделение конкретных типов алгебраических задач, их классификация, которая, в свою очередь, способствует более эффективному их решению путём использования определённых алгоритмов и способов, а также выявление трудностей при решении этих задач путём проведения опроса. Для того, чтобы упростить решение рассматриваемых задач, а также исключить возникновение ошибок на различных этапах, было реализовано приложение «2x2» на языке C#.

Классификация алгебраических задач строится на нескольких признаках. Главная задача – систематизация существующих шаблонов решения каждой из задач, которая, в свою очередь, позволяет использовать при их решении наиболее рациональные методы. В основе классификации задач алгебры лежат следующие признаки.

1. Характер математической модели.
2. Количество неизвестных величин.

3. Наличие ограничений.

4. Предметная область, к которой относится конкретная задача.

С учётом всех этих признаков выделим следующую классификацию задач современной алгебры:

А) Линейная алгебра, уравнения и системы уравнений.

Используются для описания систем с множеством взаимосвязей.

Задачи, решаемые в рамках классификации: решение уравнений и систем различными методами, работа с матрицами и определителями, задачи на операции над векторами.

Задачи могут быть применены при транспортировке грузов, чтобы выполнить поиск оптимального решения составляется матрица, с помощью которой находятся минимальные затраты на перевозку товаров от продавца к покупателю [1]. Используются в компьютерной графике: матрицы поворота, масштабирования и сдвига используются для трансформации 3D-объектов на экране.

Среди методов решения таких задач можно выделить: введение новой переменной, разложение на множители, выделение полного квадрата, методы подстановки, сложения и вычитания для систем уравнений, методы возведения в степень (с последующей проверкой, так как в случае чётного показателя такое преобразование неравносильно) и умножения на сопряжённое выражение.

Б) Задачи исследования функций и оптимизации.

Многие физические процессы и экономические явления описываются квадратичными и степенными зависимостями.

Задачи поиска максимума и минимума функций, поиск оптимального решения.

Как правило, задачи на поиск минимума и максимума функции решают путём нахождения нулей производной. Однако в некоторых задачах можно воспользоваться и другими методами, например, находя вершину параболы при исследовании квадратичной зависимости.

В физике – расчет траектории полета снаряда или мяча: зная начальную скорость и угол, можно вычислить дальность и высоту полета.

Функции спроса и предложения в бизнесе часто имеют степенной, или параболический вид. Нахождение вершины параболы позволяет определить цену, при которой выручка будет максимальной.

В) Алгебраические неравенства.

Используются в задачах, где определены ограничения: бюджетные, временные, технологические.

К этому классу задач относятся задачи решения линейных и нелинейных неравенств, систем и совокупностей неравенств.

Примером является задача линейного программирования. Такой задачей может быть составление плана производства при ограниченных ресурсах и рабочего времени. В задаче необходимо найти, сколько товаров каждого типа произвести, чтобы прибыль была максимальной, но ресурсы не выходили за допустимые рамки.

Такие задачи часто решаются методом промежутков, симплекс-методом, а также графически.

Ограничения определяются при шифровании, в криптографии и модульной арифметике.

Г) Задачи с графами и матрицами.

Используются в навигаторах, для поиска кратчайшего маршрута при решении таких задач используются Алгоритмы Дейкстры или Флойда-Уоршелла [2], основанные на алгебраических операциях.

Социальные сети также могут использовать графы. Это может быть анализ связей, поиск сообществ, рекомендации друзей.

Д) Построение алгебраических моделей.

В задачах на смеси, сплавы, массовую долю вещества, сушку вещества используется, например, в фармацевтике при смешивании ингредиентов для получения лекарства с заданной концентрацией действующего вещества; приготовлении растворов с точным значением pH. Также эти задачи находят применение в металлургии.

Изучение каждой задачи занимает много времени для поиска пояснений и решений в различных источниках, для систематизации знаний и для решения основных алгебраических задач было разработано приложение "2x2" на языке C#. Это приложение позволяет работать с числами и выражениями: находить делители чисел и разложение на простые множители; решать линейные и степенные уравнения аналитически путем поиска корней; делать проверку, нахождения произведения полиномов; работать с функциями и их графиками, находить производную и первообразную функции.

Необходимость разработки приложения обусловлена облегчением изучения алгебраических операций и расчетов.

Проведен опрос среди 17 человек: школьников 7-10 классов и студентов 1 курса. Предлагалось ответить, какие главы математики изучались, какие типы задач могут быть решены без помощи приложений, алгоритмы их решения на практике.

Опрос включал следующие разделы:

1.1. Оценка участником своих знаний по математике по десятибалльной шкале.

1.2. Вопрос об умении решать различные типы алгебраических задач.

2.1. Задача на делимость чисел.

2.2. Задача на проценты.

2.3. Задача на использование теоремы Виета.

2.4. Задача на деление полинома.

2.5. Задача на вероятность события.

2.6. Задача на нахождение среднего геометрического.

2.7. Задача на исследование функций.

2.8. Задача на основную теорему арифметики.

2.9. Задача на использование факториала.

2.10. Задача на решение иррациональных уравнений путем возведения частей в степень.

Результаты опроса были оценены по 100-балльной шкале и показали, что:

А) некоторые типы задач практически не осваиваются в школах (например, деление полиномов по схеме Горнера).

Б) человеческий фактор приводит к арифметическим ошибкам в расчетах.

В) средний балл составил 68.94, то есть, почти 30% задач не умеет решать большая часть опрошенных.

Г) балл выше 80 набрало 7 человек из 17, что меньше половины.

Д) максимальный балл не набрал ни один из участников.

Таблица 1 – Результаты опроса о навыках решения алгебраических задач

		Насколько хорошо от 1 до 10 Вы учились по математике в школе?	Какие типы задач Вы умеете решать? (по 2б. за каждый)	Сколько всего двузначных чисел не делится ни на 3, ни на 2?	Чему равны 17% от половины от 56?	Чему равна сумма корней квадратного уравнения?	Чему равен меньший корень уравнения третьей степени?	Задача на вероятность события	Чему равно среднее геометрическое чисел 2, 4 и 8?	Найдите точку минимума функции	Разложите число 36 на простые множители	Найдите значение: $7! - 4!$.	Найдите корень иррационального уравнения	
№ пп	Класс/Курс	1.1.	1.2.	2.1.	2.2.	2.3.	2.4.	2.5.	2.6.	2.7.	2.8.	2.9.	2.10.	Сумма
1	1к	8	40	5	5	5	5	5	0	5	5	5	5	93
2	7	3	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
3	1к	8	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	98
4	1к	7	40	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	87
5	7	3	8	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	16
6	7	7	12	5	5	0	0	5	0	0	5	0	0	39
7	8	8	10	5	5	0	0	5	5	0	5	0	0	43
8	8	8	24	5	5	5	0	5	0	0	5	5	5	67
9	9	8	18	5	5	5	0	5	5	0	5	5	5	66
10	1к	10	40	5	5	5	0	5	0	5	5	5	5	90
11	1к	10	36	5	5	5	0	5	0	5	0	0	5	76
12	7	9	28	5	5	5	0	5	5	5	0	0	0	67
13	10	8	30	5	5	5	5	5	0	5	5	0	5	78
14	1к	10	28	5	5	5	5	5	0	5	5	5	5	83
15	1к	9	40	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	99
16	1к	8	34	5	5	5	0	0	0	5	5	5	5	77
17	1к	7	30	5	5	5	0	5	5	5	5	5	5	82

Результаты опроса о навыках решения алгебраических задач

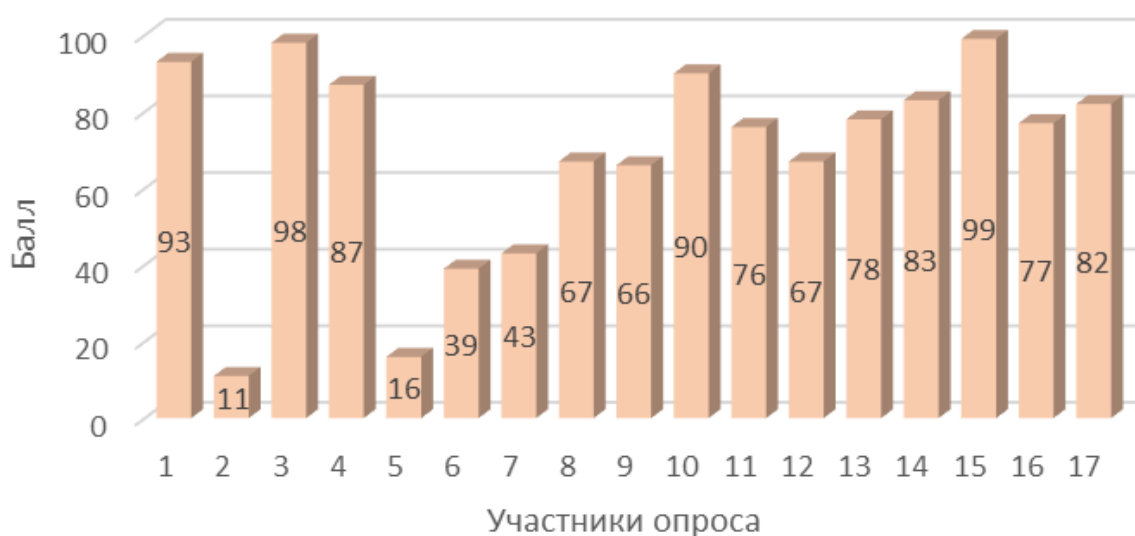


Рис. 1 – Представление результатов опроса в виде гистограммы

Приложение «2x2» было разработано для того, чтобы избежать арифметических ошибок при вычислениях, оно даёт возможность быстрого решения уравнений, даёт наглядное представление о функциях при исследовании их графиков.

В приложении можно решать степенные и иррациональные уравнения. Метод возведения в квадрат или введения новой переменной, позволяют перейти на определенном этапе к степенному уравнению и при решении дробно-рациональных уравнений, необходимо учитывать ОДЗ (область допустимых значений). Таким образом, с помощью приложения «2x2» можно решать уравнения любого вида.

Приложение «2x2» содержит справочную информацию, что позволяет использовать его в образовательных целях и для самообучения.

Было выделено 8 тестов по темам: «Рациональные числа»; «Линейные уравнения и системы»; «Степень числа»; «Квадратные уравнения»; «Уравнения высших степеней»; «Функции»; «Простые и составные числа. Делимость чисел»; «Элементы статистики».

Разработанное приложение «2x2» может быть использовано при решении большинства задач приведённой выше классификации как при получении конечного ответа, так и на промежуточных этапах.

Приложение «2x2» может быть также полезно в образовательных учреждениях, оно позволяет изучить основы алгебраических операций, ознакомиться с основами арифметики, такими, как делимость чисел и их разложение на простые множители, упрощает решение уравнений аналитическим и графическим методами, а также может быть полезно при исследовании функций.

- [1]. Бородецкий Г.Л. Экономико-математические методы и модели в логистике: учебник // Модели задач транспортного типа 2012. М. : Издательский центр «Академия». С. 133-162.
- [2]. Сысоев В. В. Итерационный алгоритм поиска кратчайшего пути в невзвешенном неориентированном графе / В. В. Сысоев. DOI-10.25559/SITITO.17.202103.585-592//Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2021. – Т. 17, № 3. С. 585-592.

*И.А. Куликов, студ.; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОГО ПОДХОДА НА ОСНОВЕ BiLSTM И GAN ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ

В данной статье мы ставим перед собой цель детально изучить и сопоставить эффективность нового гибридного метода, который комбинирует возможности двунаправленной сети BiLSTM [4] и архитектуры GAN [5]. В качестве базовых моделей для сравнения выступают рекуррентные автокодировщики на основе LSTM-AE [2], GRU-AE [3] и сети BiLSTM-AE [4]. Ключевой акцент в работе сделан на том, насколько успешно связка BiLSTM–GAN способна аппроксимировать будущие значения сигнала, которых еще нет в распоряжении системы. Мы предполагаем, что именно такое восполнение контекста позволит существенно выиграть в скорости фиксации аномалий, не жертвуя при этом точностью итоговой классификации.

Для проверки испытуемых методов была выбрана база данных ECG5000 [1], в которой собраны записи электрокардиографических сигналов. Каждый ряд содержит по 140 отсчетов. Набор данных содержит как нормальные сигналы, соответствующие типичному сердечному ритму, так и различные отклонения – формы сигнала, которые могут рассматриваться как аномальные наблюдения. Важным преимуществом ECG5000 является наличие готовой разметки, что позволяет точно измерить качество работы алгоритмов обнаружения отклонений.

Высокая результативность BiLSTM при обработке временных последовательностей объясняется их архитектурной особенностью: сеть распознает контекст данных в обоих направлениях – как из прошлого, так и из будущего. Однако применение BiLSTM имеет и определённые ограничения. Для корректной работы двунаправленной сети требуется наличие всей последовательности данных. В реальных задачах анализа потоковых данных или раннего обнаружения аномалий такой подход может быть ограничен, так как будущие значения последовательности на момент анализа ещё недоступны.

Чтобы обойти выявленное ограничение, мы разработали гибридную архитектуру, где возможности двунаправленной сети BiLSTM дополняются генеративно-состязательной моделью (GAN) [5]. В основу нашего метода легла идея использования генератора для аппроксимации тех участков временного

ряда, которые еще не поступили на вход системы. Генеративная сеть формирует вероятностное продолжение наблюдаемого временного ряда, что позволяет восполнить тем самым недостающий будущий контекст. В конечном итоге, предложенная связка BiLSTM–GAN призвана расширить применимость рекуррентных сетей именно в сценариях раннего мониторинга, где скорость обнаружения аномалий критически важна.

Несмотря на теоретические преимущества гибридизации BiLSTM и GAN, практическая реализация такой системы требует решения задачи о «точке остановки»: как долго необходимо накапливать реальные данные перед тем, как передать управление генеративной модели? Раннее прерывание сбора данных увеличивает скорость реакции, но снижает точность из-за высокой неопределенности генерируемого «хвоста» последовательности. Для разрешения этого противоречия предлагается следующий математический аппарат.

Пусть исходный временной ряд $S = \{x_1, x_2, \dots, x_{T_{total}}\}$ где T_{total} – это общее количество отсчетов, наблюдается только до момента времени t . Генеративная модель G формирует вероятное продолжение ряда $S_{gan} = \{\widehat{x}_{t+1}, \dots, \widehat{x}_{T_{total}}\}$, на основе чего строится гибридный сигнал, подаваемый на вход BiLSTM:

$$S_{hybrid}(t) = \{x_1, \dots, x_t, \widehat{x}_{t+1}, \dots, \widehat{x}_{T_{total}}\}$$

Модель обучается реконструировать нормальные паттерны $\tilde{S}(t) = BiLSTM(S_{hybrid}(t))$. Решение об аномалии принимается на основе ошибки реконструкции $RE(t)$:

$$RE(t) = \frac{1}{T_{total}} \sum_{i=1}^{T_{total}} (S_{hybrid}[i] - \tilde{S}[i])^2$$

$\tilde{S}[i]$ – реконструированное значение сигнала.

Для нахождения баланса между скоростью и достоверностью вводится целевая функция эффективности $J(t)$, которую необходимо максимизировать:

$$J(t) = \frac{T_{total} - t}{T_{total}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t - T_{min}}{\sigma}}\right) \cdot e^{-\beta RE(t)}$$

Здесь первый множитель отвечает за временной выигрыш, второй – за надежность прогноза GAN (зависит от минимальной длины T_{min} и сложности ряда σ), а третий – за штраф за ошибку реконструкции с коэффициентом чувствительности β .

Пример расчета для набора данных ECG5000

Применительно к используемому в работе набору данных (длина записи $T_{total} = 140$), был проведен численный эксперимент для поиска t_{opt} . При параметрах $T_{min} = 60$, $\sigma = 20$, $\beta = 3$ были получены следующие результаты:

Таблица 1 – результаты нахождения точки останова

Точка замера (t)	Выигрыш во времени	Надежность прогноза GAN	Эффективность J(t)
80	43%	0.63	0.190
100	29%	0.86	0.195
120	14%	0.95	0.120

Расчет показывает, что оптимальная точка принятия решения находится в районе 100 отсчета. В этом случае модель обеспечивает опережение графика на 29% при сохранении высокой достоверности контекста.

Методология нашего исследования опирается на принципе обучения моделей, при котором используются только нормальные данные. Для этого из обучающей выборки были взяты исключительно наблюдения, относящиеся к нормальному классу. В то же время тестовая выборка была оставлена гетерогенной: в нее вошли как эталонные последовательности, так и зафиксированные отклонения.

Чтобы понять, насколько эффективно алгоритмы справляются с идентификацией аномалий, мы отказались от простой точности (Accuracy) в пользу более детальных метрик. В рамках исследования анализируются показатели precision, recall и F1-score. Такой набор параметров позволяет нам объективно оценить баланс между способностью модели находить редкие аномалии и отсутствием ложных срабатываний на нормальном ритме.

Таблица 2 – результаты тестирования моделей представлены в таблице

Модель	Precision	Recall	F1-Score
LSTM-AE	0.90	0.77	0.83
BiLSTM-AE	0.91	0.80	0.85
GRU-AE	0.93	0.81	0.87
BiLSTM + GAN	0.88	0.76	0.82

При сопоставлении итоговых показателей выяснилось, что наиболее эффективной оказалась архитектура GRU-AE, достигнув значений F1-Score = 0.87 при точности (Precision) 0.93 и полноте (Recall) 0.81. По нашему мнению, такой успех связан с архитектурными особенностями GRU: упрощенная структура вентилей (update и reset gates) позволяет лучше запоминать

паттерны последовательностей на коротких данных. Для временных рядов длиной 140 отсчетов механизмы долгосрочной памяти, реализованные в LSTM и BiLSTM, не успевают полностью раскрыть свой потенциал, тогда как GRU более эффективно улавливает локальные паттерны сигнала.

Модель BiLSTM-AE показала сопоставимые с GRU результаты (F1-Score = 0.85), уступив лидеру всего 2%. Это еще раз подтверждает, что двунаправленный анализ контекста крайне полезен для поиска аномалий, однако его практическое применение в потоковом режиме по-прежнему упирается в необходимость ожидания всех 140 отсчетов.

Предложенный гибридный подход BiLSTM + GAN продемонстрировал наиболее скромные результаты (F1-Score = 0.82, Precision = 0.90, Recall = 0.78), оказавшись на одной ступени со стандартной LSTM и немного уступив обычной BiLSTM. Это объясняется рядом факторов:

Неустойчивость генератора: при работе с короткими фрагментами предыстории GAN не всегда удается создать реалистичное продолжение ряда.

Эффект накопления искажений: Ошибки, возникающие на этапе генерации, неизбежно попадают на вход BiLSTM, что вносит помехи в итоговую классификацию.

Важно подчеркнуть, что, несмотря на некоторое отставание по формальным метрикам точности, предложенная нами концепция обладает уникальным преимуществом: она позволяет системе выносить вердикт уже на 100-м отсчете, не дожидаясь финального 140-го. В практическом выражении это обеспечивает 29% выигрыш во времени, что может быть критично для систем экстренного медицинского мониторинга.

Гибридный подход BiLSTM + GAN в текущей реализации не может быть рекомендован для практического применения без доработок. Он демонстрирует потенциал в части раннего обнаружения, однако требует существенного улучшения генеративного модуля (например, замена стандартной GAN на Wasserstein GAN с градиентным штрафом или добавление механизма внимания) с целью повышения стабильности генерации и улучшения итоговых метрик классификации.

Литература

- [1]. Dau H. A., Keogh E., Kamgar K. et al. The UCR Time Series Classification Archive. 2019. URL: https://www.cs.ucr.edu/~eamonn/time_series_data_2018/ (дата обращения: 10.03.2026).
- [2]. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural computation. 1997. №9 (8). С. 1735-1780. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6795963> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. Cho K., Van Merriënboer B., Gulcehre C. et al. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation // arXiv preprint arXiv:1406.1078. 2014. URL: <https://arxiv.org/abs/1406.1078> (дата обращения: 10.03.2026).
- [4]. Graves A., Schmidhuber J. Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures // Neural networks. 2005. №18 (5-6). С. 602-610. URL: https://www.cs.toronto.edu/~graves/nn_2005.pdf (дата обращения: 10.03.2026).
- [5]. Goodfellow I., Pouget-Abadie J., Mirza M. et al. Generative adversarial nets // Advances in neural information processing systems. 2014. №27. С. 2672-2680. URL: <https://proceedings.neurips.cc/paper/2014/file/5ca3e9b122f61f8f06494c97b1afccf3-Paper.pdf> (дата обращения: 10.03.2026).

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ГРАФИКИ ИГРОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В настоящее время с развитием технологий искусственного интеллекта (ИИ) процесс создания графики для игрового программного обеспечения (ПО) среди небольших студий и небольших команд (инди-разработчиков) претерпел серьёзные изменения. Как правило, ранее процесс создания графики требовал больших финансовых и временных затрат, поскольку разработка различного графического контента выполнялась художниками и дизайнерами вручную.

Современные технологии ИИ позволяют автоматически создавать различные элементы графического контента: изображения, текстуры и концепты объектов, которые, в дальнейшем, в рамках данной статьи будут называться игровыми ассетами. Это может значительно ускорить процесс разработки и уменьшить затраты на создание игрового ПО. Использование подобных технологий может быть особенно актуальным для небольших студий и инди-разработчиков, обычно ограниченных в ресурсах.

Согласно определению Кадырова П.Р., игровой ассет – это цифровой объект, который обычно содержит однородные данные и является неделимой сущностью [1]. К игровым ассетам могут относиться модели персонажей, текстуры окружения, элементы интерфейса и прочие визуальные объекты внутри игрового ПО.

Актуальность данного исследования обусловлена активным использованием технологий ИИ в процессе разработки игрового ПО. По данным аналитического исследования Ichiro Lambe, посвящённого анализу платформы Steam около 20% разработчиков игр, выпущенных в 2025 году, сообщили об использовании технологий ИИ в процессе разработки своего игрового ПО [2].

В статье проведен анализ использования технологий ИИ для оптимизации процесса разработки игрового ПО и сравнение эффективности по сравнению с традиционными методами разработки. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть понятие игровых ассетов и их роль в разработке игрового ПО.
2. Проанализировать текущие способы создания игровых ассетов.
3. Изучить использование технологий искусственного интеллекта разработчиками.
4. Сравнить различные подходы к созданию ассетов.

Для детального анализа текущих способов применения технологий ИИ для разработки игровых ассетов следует обратиться к результатам исследований, посвящённым анализу применения ИИ на практике. В исследовании, опубликованном в журнале Computers, был проведён опрос пользователей

генеративных моделей ИИ с целью выявления основных направлений их применения (рис. 1) [3].

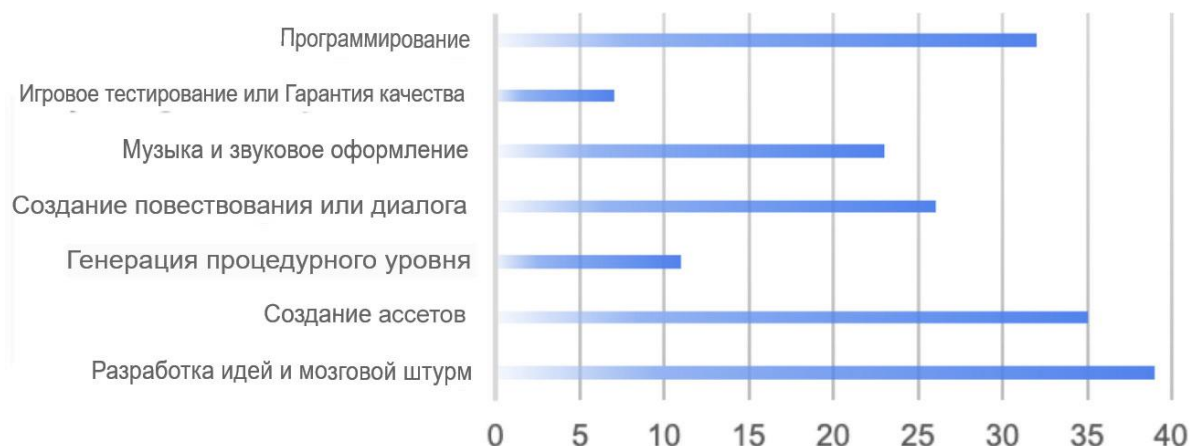


Рис. 1. Результаты опроса на тему «Основные задачи использования генеративных моделей искусственного интеллекта» [3]

Как видно из результатов опроса, создание ассетов занимает второе место с 83,3% среди методов использования технологий ИИ.

Полученные результаты демонстрируют, что генеративные модели ИИ активно применяются для создания игровых ассетов. Однако ИИ является лишь одним из возможных способов разработки игровых ассетов. На практике разработчики используют различные подходы к созданию игровых ассетов, от найма фриланс-специалистов до самостоятельной разработки. В связи с этим возникает необходимость провести сравнительный анализ различных способов создания игровых ассетов.

Основные способы создания игровых ассетов представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Основные способы создания игровых ассетов

Критерий	Asset Store	Фриланс	Самостоятельная разработка	Генерация с использованием технологий ИИ
Время создания	Около 10 минут (поиск ассета)	1–4 недели	От нескольких часов до нескольких дней	15–30 минут на набор ассетов
Стоимость	10–50 \$ на пакет	100–500 \$ на набор	Бесплатно	Бесплатно или по подписке
Качество	Высокое	Высокое	Зависит от уровня навыков	Среднее
Консистентность стиля	Возможны проблемы при комбинировании ассетов	Высокая	Высокая	Высокая при использовании единого набора генерации
Гибкость редактирования	Ограниченная	Высокая	Высокая	Высокая, возможны многочисленные итерации

Каждый из рассмотренных способов создания игровых ассетов имеет свои преимущества и недостатки. Использование магазинов ассетов позволяет быстро получить готовые графические ресурсы, однако такие ассеты часто малые по размеру и не подходят для разработки больших проектов из-за частой несовместимости стилистики выполнения ассетов. Привлечение фриланс-специалистов позволяет получить более качественные и индивидуальные решения, но требует значительных временных и финансовых затрат. Самостоятельная разработка ассетов предоставляет полный контроль над результатом, однако требует наличия соответствующих навыков. В свою очередь использование технологий ИИ позволяет значительно ускорить процесс создания графических ресурсов и снизить затраты на разработку.

В ходе проведённого исследования были рассмотрены особенности применения технологий ИИ в процессе разработки графических ресурсов для игрового ПО. В рамках работы было изучено понятие игровых ассетов, проанализированы существующие способы их создания, а также рассмотрены результаты исследований, посвящённых практическому использованию генеративных моделей искусственного интеллекта.

Анализ результатов опроса пользователей генеративных моделей ИИ показал, что технологии искусственного интеллекта активно применяются для создания цифровых ассетов и занимают одно из ведущих мест среди направлений использования подобных инструментов. Это свидетельствует о высокой востребованности генеративных технологий в сфере разработки цифрового контента.

Сравнительный анализ различных способов создания игровых ассетов показал, что традиционные методы разработки, такие как самостоятельное создание ассетов, использование магазинов ассетов и привлечение фриланс-специалистов, обладают рядом преимуществ, однако нередко требуют значительных временных и финансовых затрат. В то же время применение технологий ИИ позволяет существенно ускорить процесс разработки графического контента и снизить стоимость создания игровых ресурсов.

Таким образом, технологии ИИ могут рассматриваться как эффективный инструмент оптимизации процесса разработки графики игрового ПО. Несмотря на необходимость дополнительной доработки результатов генерации, использование генеративных моделей ИИ открывает новые возможности для повышения эффективности разработки, особенно для небольших студий и индивидуальных разработчиков.

Литература

- [1]. Кадыров П.Р. Оптимизация процесса создания игровых ассетов при помощи использования нейронных сетей – 2024 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-protssessa-sozdaniya-igrovyyh-assetov-pri-pomoschi-ispolzovaniya-neyronnyh-setey/viewer>
- [2]. Ichiro Lambe The NEW Surprising Number of Steam Games that Use GenAI – 2025 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: <https://www.totallyhuman.io/blog/the-surprising-new-number-of-genai-games-on-steam>
- [3]. Sultan A. Alharthi Generative AI in Game Design: Enhancing Creativity or Constraining Innovation? – 2025 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: <https://www.mdpi.com/2079-3200/13/6/60>

[4]. Vlad Loop Как создавать игровые ассеты с помощью AI: практическое руководство для инди-разработчиков – 2026 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: <https://dtf.ru/gamedev/4729390-sozdanie-igrovyyh-assetov-s-pomoshhyu-ai>

*К.А. Кунавич, студ.; рук. С.А. Федулова, ст. преподаватель
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ (SOA) ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Корпоративный сектор сегодня эксплуатирует сложные комплексы прикладного ПО: ERP-системы (SAP S/4HANA, Oracle EBS, 1C:ERP), CRM-решения (Salesforce, Microsoft Dynamics 365), платформы для бизнес-аналитики (Power BI, Qlik), системы электронного документооборота и управления производственными данными. Каждый продукт из этого перечня создавался в разное время, часто – разными вендорами, что привело к гетерогенности технологической базы. В одних модулях информация хранится в реляционных таблицах, в других – в формате XML или JSON, а интерфейсы представлены комбинацией RESTful API, SOAP-сервисов и устаревших механизмов обмена файлами через FTP. В итоге данные оказываются фрагментированными, а сквозные процессы – например, цикл «приём заказа - отгрузка со склада - выставление счёта» – требуют либо ручного ввода, либо сложных интеграционных связок [1].

Если строить интеграцию по принципу «точка-точка», то число необходимых соединений вычисляется по формуле $n \times (n-1)$. Для 15 приложений это уже 210 каналов, каждый из которых требует отдельной настройки, поддержки и тестирования. Любое изменение в API одной из систем влечёт корректировку всех связанных с ней адаптеров. По оценкам, более 60% крупных организаций сталкиваются с проблемой высокого coupling, когда сопровождение интеграционных связей начинает поглощать значительную часть ИТ-бюджета [2].

Сервис-ориентированная архитектура (SOA) предлагает иной принцип: функциональность приложений «оборачивается» в сервисы с унифицированными контрактами. Контракт описывается на языке, независимом от платформы: для SOAP это WSDL и XML Schema, для REST – спецификация OpenAPI. В результате любой потребитель (веб-интерфейс, мобильное приложение, партнёрская система) получает доступ к операции «расчёт доставки» или «проверка кредитного лимита» без необходимости знать, на каком языке написана система-источник и как организована её внутренняя логика [3].

В работах Т. Эрла и М. Папазоглу выделены базовые принципы SOA: контрактная дисциплина (интерфейс существует отдельно от реализации), низкая связанность (клиент не зависит от внутренностей сервиса), многократное использование (один сервис обслуживает множество приложений) и

возможность обнаружения через реестр. Соблюдение этих правил, по данным исследователей, позволяет сократить время вывода новых бизнес-функций примерно на треть по сравнению с классическими подходами [3, 4].

Ключевым элементом практической реализации SOA в корпоративной среде становится сервисная шина (Enterprise Service Bus, ESB). Она выполняет роль посредника, принимая сообщения от всех подключённых систем, преобразуя их форматы (например, перекодировка из CP1251 в UTF-8, конвертация XML - JSON) и маршрутизируя к нужным получателям по заранее определённым правилам. ESB также обеспечивает гарантированную доставку через очереди сообщений (Apache ActiveMQ, RabbitMQ) и автоматические повторные попытки при сбоях. Согласно анализу, проведённому А. А. Самарским и Е. В. Бурцевым, использование шины снижает число интеграционных связей с квадратичного до линейного масштаба, что кардинально упрощает эксплуатацию [5].



Рис. 1. Схема интеграции корпоративных информационных систем на основе SOA

На приведённой схеме (рис. 1) выделены три архитектурных слоя. Нижний слой составляют приложения-источники: ERP, CRM, СЭД, производственные системы. Средний – интеграционная шина с модулями маршрутизации, трансформации, мониторинга и управления очередями. Верхний слой – каталог сервисов, где опубликованы бизнес-операции. Над ними надстраивается уровень оркестрации (BPMN-движок), который координирует последовательность вызовов сервисов в рамках сквозных процессов, обрабатывает ошибки и управляет транзакциями. Такая многослойность позволяет менять логику бизнес-процессов без модификации самих приложений.

Экономическая эффективность перехода на SOA подтверждена исследованиями. По данным Forrester (2021), стоимость создания новых интеграционных сценариев снижается в среднем на 35% за счёт повторного применения уже существующих сервисов. Замена устаревшей системы становится менее болезненной: достаточно разработать новый адаптер, который будет публиковать тот же интерфейс, что и прежний компонент. Кроме того, использование очередей сообщений повышает отказоустойчивость: если ERP временно недоступна, входящие запросы накапливаются в ESB и доставляются после восстановления, что предотвращает потерю данных [6].

Вместе с тем внедрение SOA имеет объективные сложности. Развёртывание шины требует выделенной команды и может занимать от 6 до 12 месяцев на крупном предприятии. Сама ESB становится единой точкой отказа, поэтому необходима кластеризация (активный-активный режим) и репликация конфигураций. Дополнительный сетевой hop вносит задержку от 10 до 50 мс на сообщение, что критично для систем реального времени. Также существует риск чрезмерной унификации форматов, когда создаётся одна «гигантская» схема данных, которая становится узким местом при развитии.

Практическая методика построения SOA-решения включает несколько шагов. Сначала проводится аудит ИТ-ландшафта: фиксируются протоколы (HTTP, JMS, FTP), форматы, наличие API. Для систем без API разрабатываются адаптеры через файловые каталоги или прямой доступ к БД. Затем выбирается платформа ESB – для среднего бизнеса часто используют Apache Camel в связке с Spring Boot, для крупных корпораций – Oracle Service Bus или IBM Integration Bus, поддерживающие горизонтальное масштабирование. Далее на основе анализа бизнес-процессов формируется реестр сервисов: каждая операция получает версию, SLA (максимальное время ответа, доступность) и владельца. После этого на шине настраиваются маршруты (например: «поступление заказа из CRM - вызов ERP-сервиса - отправка уведомления в 1С»). Завершающий этап – развёртывание системы мониторинга (Grafana + Prometheus) и портала разработчика с интерактивной документацией.

Сервис-ориентированный подход также служит фундаментом для перехода к более современным моделям – микросервисам и облачным платформам. Как отмечает С. Ньюман, принципы изоляции ответственности, слабой связанности и контрактного взаимодействия, заложенные в SOA, были адаптированы в микросервисной архитектуре, но с заменой централизованной шины на децентрализованные шлюзы API и sidecar-контейнеры [7]. Однако для предприятий с большим количеством унаследованных систем классическая SOA с ESB остаётся наиболее зрелым и проверенным подходом, позволяющим модернизировать инфраструктуру без остановки операционной деятельности.

Таким образом, использование SOA для интеграции корпоративных информационных систем позволяет управлять сложностью взаимодействия, сократить эксплуатационные затраты и обеспечить масштабируемость. Ключевые факторы успеха – строгое версионирование сервисов, применение

стандартизированных протоколов (HTTP/2, gRPC) и централизованный мониторинг интеграционных потоков.

Литература

- [1] Вейцман В. М. Проектирование информационных систем : учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2022. – 316 с.
- [2] Папазоглу М. Архитектура сервис-ориентированных систем. – М.: Вильямс, 2010. – 400 с.
- [3] Эрл Т. Сервис-ориентированная архитектура. Концепции, технологии и проектирование. – М.: Вильямс, 2010. – 544 с.
- [4] Hohpe G., Woolf B. Enterprise Integration Patterns: Designing, Building, and Deploying Messaging Solutions. – Addison-Wesley, 2003. – 736 p.
- [5] Самарский А. А., Бурцев Е. В. Интеграция корпоративных информационных систем. – М.: Инфра-М, 2018. – 256 с.
- [6] Forrester Research. The State Of Application Integration And SOA, 2021.
- [7] Ньюман С. Создание микросервисов. – М.: Питер, 2019. – 432 с.

*А.В. Кутяйкин, студ.; рук. А.И. Фомин, к.т.н., доцент
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

О РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В статье рассматривается проблемы реструктуризации локальной вычислительной сети (ЛВС) центров обработки данных предприятий в условиях увеличения объемов обрабатываемых данных (ЦОД) и роста числа используемых бизнес-приложений. Автором предлагается и дается описание новой обновленной структуры ЛВС ЦОД, обеспечивающей выполнения требований по отказоустойчивости и пропускной способности. Отдельно раскрыты проблемы отсутствия специализированных средств защиты от распределенных атак и анализаторов трафика. Особое внимание уделено повышению отказоустойчивости таких сетей. Результаты исследования направлены на создание структур ЛВС ЦОД, обеспечивающих высокую степень адаптивности к масштабируемости объема обрабатываемых данных, подключения дополнительных серверов, установки и использования бизнес-приложений.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, аудит, коммутатор, локальная вычислительная сеть, сервер, реструктуризация, центр обработки данных.

В условиях динамичного рынка эффективная автоматизированная система (АИС) является фундаментом успешной деятельности любого предприятия. Постоянное увеличение объемов обрабатываемых данных и рост числа бизнес-приложений требуют от современных АИС центров обработки данных (ЦОД) высокой степени адаптивности и масштабируемости. Однако существующие инфраструктуры таких центров на базе локальных вычислительных сетей (ЛВС) зачастую не соответствуют требованиям по отказоустойчивости и пропускной способности, что диктует необходимость их реструктуризации.

Анализ существующей и предлагаемой структур ЛВС ЦОД.

Объектом исследования является ЦОД хостинговой компании, предоставляющий услуги выделенных и виртуальных серверов. Проведенный анализ и технический аудит показали, что текущая ЛВС базируется на стекируемых коммутаторах D-Link DGS-3324SR в ядре и DGS-3200-16 на уровне доступа.

К основным проблемам текущей реализации относятся:

- полное отсутствие резервированных каналов связи;
- использование шифрованных VPN-туннелей с низкой пропускной способностью;
- неэффективное использование площадей серверного зала из-за устаревших форм-факторов оборудования;
- отсутствие специализированных средств защиты от распределенных атак и анализаторов трафика.

Структурная схема сети, представленная на рисунке 1.

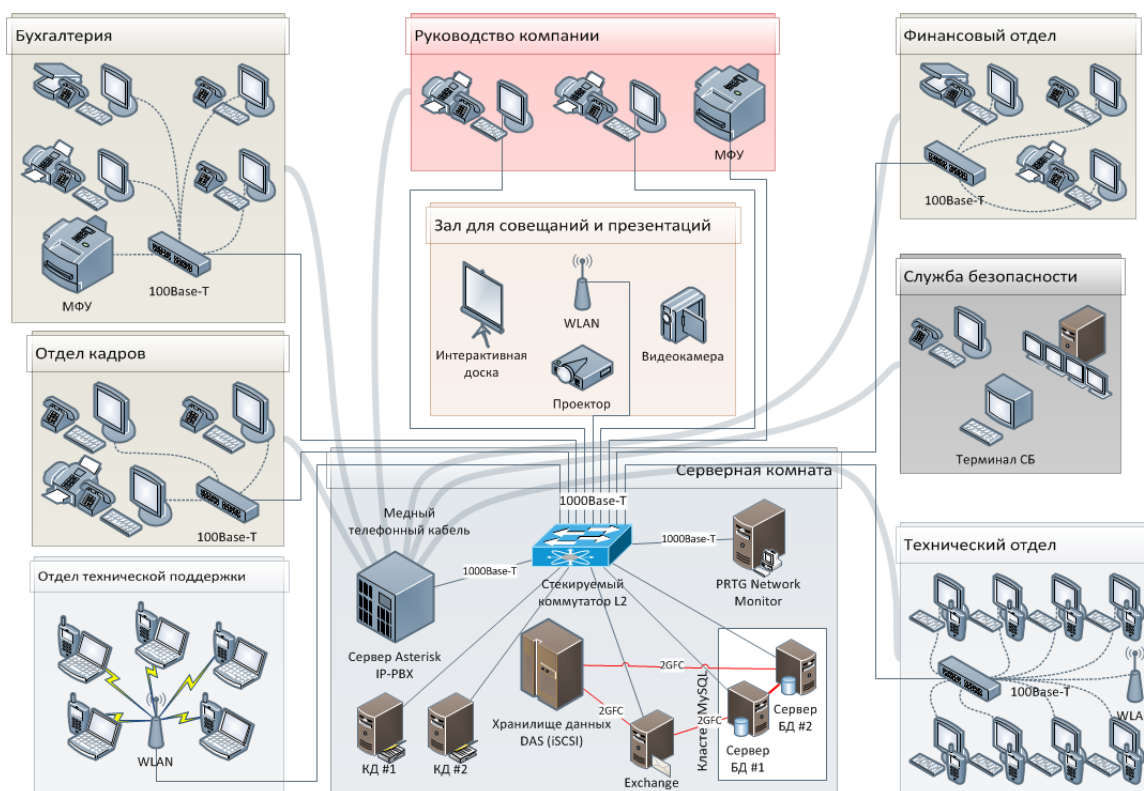


Рисунок 1 – Схема ЛВС ЦОД хостинговой компании

Выявлено, что при масштабировании мощностей и добавлении новых серверов текущая архитектура не сможет гарантировать требуемый уровень качества функционирования и обслуживания.

Для устранения выявленных дефицитов предлагается переход к классической трехуровневой иерархической модели Cisco, включающая уровни ядра: распределенный и доступа [1, 2].

Схема предлагаемой структуры ЛВС ЦОД, обеспечивающей необходимый уровень качества и отказоустойчивости, представлена на рисунке 2.

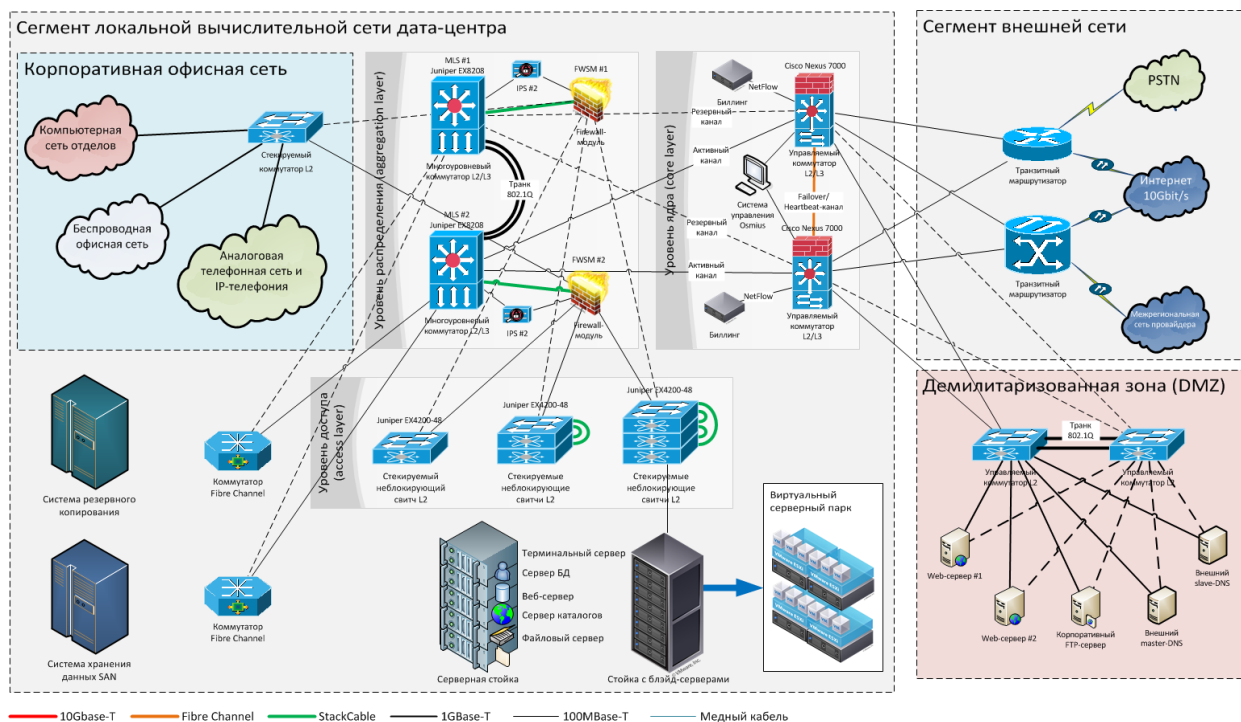


Рисунок 2 – Предлагаемая структурная схема ЛВС ЦОД

Уровень ядра: Использование высокопроизводительного оборудования (например, Cisco Nexus 7000) позволяет организовывать кольцевую схему с избыточностью.

Уровень доступа: Применение технологий виртуального шасси на базе Juniper EX4200/EX8200 обеспечивает высокую плотность портов и упрощает управление инфраструктурой.

Инженерные системы: Реструктуризация предполагает внедрение прецизионного кондиционирования с организацией «горячих» и «холодных» коридоров, что критично при плотности энергопотребления свыше 12 кВт на стойку. Сравнительный анализ характеристик коммутаторов ядра представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительный анализ характеристик предлагаемого оборудования

Характеристика	Текущее оборудование (D-Link DGS-3324SR)	Проектируемое решение (Cisco Nexus 7000 / Juniper EX)	Преимущество для ЦОД
Тип архитектуры	Стекируемая	Модульная	Высокая отказоустойчивость, масштабируемость
Пропускная способность	До 88 Гбит/с	Свыше 15 Тбит/с (шасси)	Устранение «бутылочного горлышка» в ядре
Скорость пересылки	~65 Mpps	Свыше 700 Mpps на модуль	Минимизация задержек при пиковых нагрузках

Продолжение таблицы 1 – Сравнительный анализ характеристик предлагаемого оборудования

Резервирование питания	Внешний БП (опционально)	Резервирование по схеме N+1 / N+N	Соответствие стандарту Tier 3
Поддержка 10G/40G/100G	Только 1G (опционально 10G)	Нативная поддержка до 100G	Готовность к росту трафика
Управление (ОС)	Проприетарная D-Link	Cisco NX-OS / Juniper Junos	Автоматизация и защита от ошибок (Commit/Rollback)

В рамках проекта реструктуризации ЛВС ЦОД предусмотрено повышение уровня отказоустойчивости до стандарта Tier 3, что подразумевает наличие нескольких путей распределения электропитания и возможность параллельного обслуживания компонентов без остановки работы центра.

Для обеспечения безопасности предлагается внедрение политик Control Plane Policing (CoPP), использование списков контроля доступа (ACL) и протоколов синхронизации времени NTP v3 для корреляционного анализа логов в системе Syslog [3]. Мониторинг параметров микроклимата и электроснабжения реализуется на базе программных комплексов класса SCADA или систем с открытым кодом (Zabbix).

Таким образом, реализация предложенного проекта реструктуризации ЛВС ЦОД позволит достичь высокой производительности, гибкости и отказоустойчивости системы. Переход на современное оборудование ведущих вендоров и оптимизация инженерных подсистем обеспечивают необходимый запас масштабируемости, минимизируя риски простоев и повышая экономическую эффективность ИТ-инфраструктуры в долгосрочной перспективе.

Литература

- [1]. Брэдли Дансмор, Тоби Скандьер. Справочник Cisco по телекоммуникационным технологиям : Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
- [2]. Брайан Хилл. Полный справочник по Cisco : Пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2009. – 1088 с.
- [3]. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2020.

АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОНТЕКСТЕ МОНИТОРИНГА КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ⁴

В условиях цифровой трансформации и экспоненциального роста объемов сетевого взаимодействия задача выявления аномалий в сетевом трафике приобретает ключевое значение для обеспечения устойчивости информационно-телекоммуникационных инфраструктур и киберфизических систем, в которых вычислительные, сетевые и физические компоненты функционируют в тесной взаимосвязи. Усложнение архитектуры распределенных систем, широкое распространение облачных вычислений, индустриального интернета вещей и увеличение доли автоматизированных сервисов приводят к качественному изменению структуры сетевого трафика, который в данном случае выступает не только средством передачи данных, но и важнейшим индикатором состояния наблюдаемой среды. В этих условиях границы между нормальным и аномальным поведением становятся все менее очевидными, что обуславливает необходимость перехода от сигнатурных методов обнаружения угроз к интеллектуальным подходам, основанным на анализе статистических закономерностей и выявлении отклонений от типовых паттернов функционирования. Значимость такой постановки задачи подтверждается современными обзорами, в которых обучающие наборы данных и методы сетевого обнаружения вторжений рассматриваются как ключевая основа разработки интеллектуальных систем защиты [1-2].

Ключевым фактором, определяющим эффективность методов выявления аномалий, выступает тип используемых данных, поскольку именно он задает уровень доступной информации, структуру признакового пространства и применимость тех или иных алгоритмических решений. В современной практике анализа сетевого трафика сформировано два базовых подхода к его представлению, таких как пакетно-ориентированный, реализуемый в формате PCAP, и потоково-агрегированный, реализуемый в формате NetFlow. Эти подходы отражают различные уровни абстракции сетевого взаимодействия и, как следствие, формируют различные условия для постановки задачи выявления аномалий. В контексте мониторинга киберфизических систем указанные форматы могут рассматриваться как гетерогенные представления сетевой активности, используемой для интеллектуального анализа состояния распределенной среды в условиях неопределенности функционирования киберфизических систем.

Пакетно-ориентированное представление сетевого трафика, реализуемое в формате PCAP, характеризуется максимальной полнотой и

⁴ Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2026-0010

детализированностью фиксируемой информации. В рамках данного подхода регистрируются не только заголовки протоколов различных уровней сетевой модели, но и полезная нагрузка передаваемых пакетов, что позволяет реконструировать содержание сетевого взаимодействия практически без потерь. Такая степень детализации делает PCAP-данные принципиально значимыми для задач глубокой инспекции трафика, выявления сложных многоэтапных атак и анализа вредоносной активности на уровне приложений. Вместе с тем высокая информативность неизбежно сопровождается существенным ростом объема данных и размерности признакового пространства, что требует значительных вычислительных ресурсов и усложняет применение методов анализа в условиях реального времени. Эти свойства хорошо отражены в описании датасетов CIC, где исходные захваты трафика в формате PCAP используются как базовая форма представления сетевых событий.

Альтернативный подход реализуется в формате NetFlow, в рамках которого сетевой трафик представляется в виде агрегированных потоков, формируемых на основе совокупности пакетов, обладающих общими характеристиками, такими как адреса источника и назначения, порты, протокол и временные параметры соединения. В отличие от PCAP, NetFlow не содержит информации о содержимом пакетов, ограничиваясь статистическими характеристиками потоков, включая количество переданных байт и пакетов, длительность соединения и набор агрегированных признаков. Такой уровень абстракции существенно снижает объем данных и обеспечивает возможность их обработки в масштабируемых системах мониторинга, однако одновременно ограничивает глубину анализа и снижает чувствительность к сложным атакам, скрытым в полезной нагрузке.

Рассмотрение указанных подходов целесообразно осуществлять на основе анализа публичных датасетов, отражающих соответствующие парадигмы представления данных. В качестве репрезентативного примера пакетно-ориентированного подхода можно рассматривать датасет *CSE-CIC-IDS2018*, который включает захваты сетевого трафика, системные журналы и 80 признаков, извлеченных из зафиксированного трафика, а также охватывает несколько классов атак, включая Brute-force, Heartbleed, Botnet, DoS, DDoS, Web attacks и Infiltration [3]. Данный датасет характеризуется высокой степенью детализации исходных данных и возможностью извлечения как низкоуровневых, так и агрегированных признаков, что делает его удобным инструментом для разработки и тестирования методов выявления аномалий различной сложности.

В противоположность этому датасет *NF-UQ-NIDS-v2* реализует потоково-агрегированный подход и основан на NetFlow-представлении трафика. Его особенностью является использование компактного набора статистических признаков, описывающих характеристики сетевых соединений без обращения к содержимому пакетов. Согласно данным Университета Квинсленда, *NF-UQ-NIDS-v2* входит в семейство унифицированных NetFlow v2 датасетов и предназначен для сопоставимого машинного анализа трафика из нескольких сценариев и источников [4]. Это обеспечивает высокую пригодность датасета

для построения масштабируемых моделей машинного обучения, ориентированных на анализ больших объемов данных в условиях ограниченных вычислительных ресурсов.

Как можно увидеть из рисунка 1, NetFlow данные предоставляют более компактное и агрегированное описание сетевой активности, формируемое на основе статистических характеристик соединений, тогда как PCAP данные сохраняют исходный пакетный контекст, включая временную структуру и протокольное содержимое взаимодействия [5]. Иными словами, PCAP фиксирует сетевое событие на уровне первичной наблюдаемости, а NetFlow переводит его в более высокий уровень абстракции, удобный для масштабируемой аналитической обработки. Именно это различие в способе накопления и преобразования информации предопределяет различие в чувствительности методов выявления аномалий, построенных на соответствующих типах данных.

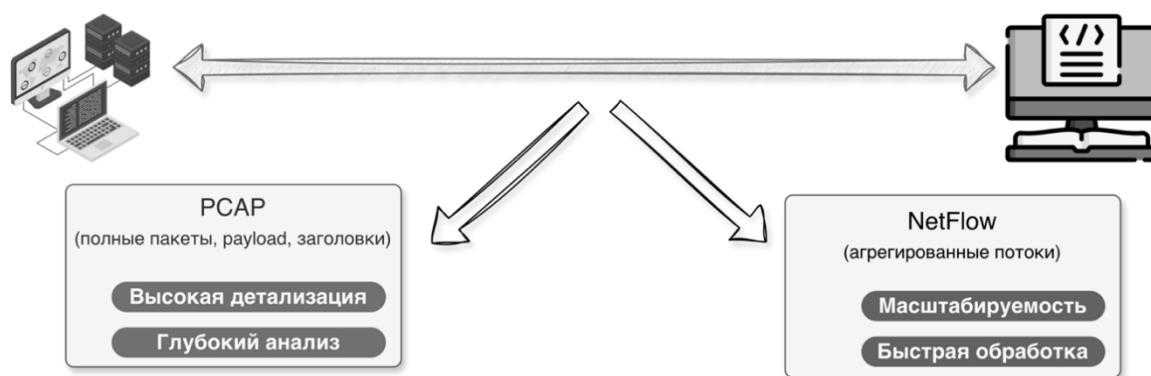


Рис. 1. Схема представления сетевых данных

С точки зрения вычислительной эффективности NetFlow-данные обладают существенным преимуществом, поскольку их компактность позволяет реализовать анализ в режиме, близком к реальному времени, даже в условиях высоконагруженных сетей. В то же время использование PCAP требует либо значительных вычислительных ресурсов, либо предварительного этапа агрегации и извлечения признаков, что снижает оперативность анализа. Данное различие приобретает критическое значение при проектировании систем обнаружения вторжений, ориентированных на эксплуатацию в корпоративных или облачных инфраструктурах. По этой причине потоковые датасеты семейства NF-v2 все чаще рассматриваются как практическая база для развертывания масштабируемых моделей IDS.

Не менее важным аспектом является применимость различных классов алгоритмов машинного обучения. NetFlow-данные, обладающие фиксированной структурой и умеренной размерностью, хорошо согласуются с классическими методами, такими как ансамбли деревьев решений или методы опорных векторов, обеспечивая высокую точность при относительно низких вычислительных затратах. В свою очередь, PCAP-данные предполагают более

сложный этап предварительной обработки либо использование моделей, способных учитывать последовательную и высокоразмерную структуру наблюдений, что усложняет процесс разработки моделей, но одновременно расширяет возможности выявления сложных зависимостей. Таким образом, выбор между PCAP и NetFlow не может рассматриваться как универсальный, поскольку он определяется конкретными условиями применения, включая требования к точности, масштабируемости и скорости обработки данных. В исследовательских задачах и при анализе сложных атак предпочтение, как правило, отдается PCAP-данным, тогда как в практических системах мониторинга доминирует использование NetFlow благодаря его эффективности и масштабируемости.

Проведенный анализ показал, что форматы PCAP и NetFlow представляют собой два взаимодополняющих подхода к описанию сетевого трафика, каждый из которых реализует собственную парадигму выявления аномалий. Пакетно-ориентированный подход обеспечивает максимальную глубину анализа и позволяет выявлять сложные, многоуровневые угрозы, однако сопровождается высокой вычислительной стоимостью и ограниченной масштабируемостью. Потокно-агрегированный подход, напротив, обеспечивает эффективную обработку больших объемов данных и пригоден для эксплуатации в реальных системах мониторинга, но уступает в способности выявлять атаки, скрытые на уровне содержимого пакетов. В этой связи наиболее перспективным направлением развития систем обнаружения аномалий представляется интеграция указанных подходов в рамках гибридных архитектур, предполагающих использование NetFlow для первичного выявления подозрительной активности с последующим углубленным анализом соответствующих сегментов трафика на основе PCAP. Такая стратегия обеспечивает баланс между вычислительной эффективностью и глубиной анализа, позволяя в задачах мониторинга киберфизических систем рассматривать форматы PCAP и NetFlow как взаимодополняющие представления мультимодальных сетевых данных для интеллектуального анализа состояния распределенной среды в условиях неопределенности.

Литература

- [1]. University of Queensland. NF-UQ-NIDS-v2 Dataset [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cyber.uq.edu.au/project/machine-learning-based-nids-datasets> (дата обращения: 05.04.2026).
- [2]. Ring M., Wunderlich S., Scheuring D., Landes D., Hotho A. A survey of network-based intrusion detection data sets // Computers & Security. 2019. Vol. 86. P. 147-167. DOI: 10.1016/j.cose.2019.06.005.
- [3]. Sharafaldin I., Lashkari A. H., Ghorbani A. A. Toward generating a new intrusion detection dataset and intrusion traffic characterization // Proceedings of the 4th International Conference on Information Systems Security and Privacy (ICISSP). Madeira, Portugal: SciTePress, 2018. P. 108-116. DOI: 10.5220/0006639801080116.
- [4]. Canadian Institute for Cybersecurity. CSE-CIC-IDS2018 Dataset [Электронный ресурс]. URL: <https://www.unb.ca/cic/datasets/ids-2018.html> (дата обращения: 05.04.2026).
- [5]. Kirillova E.A., Lazarev A.I. Development of a Verification System for the Socio-Economic Entities in a Virtual Tunnel Safe Interaction // Proceedings of the 2024 6th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE). Moscow, Russia: IEEE, 2024. DOI: 10.1109/REEPE60449.2024.10479947.

АНАЛИЗ СИГНАТУРНЫХ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ⁵

В современных условиях развития цифровых технологий киберфизические системы представляют собой сложные распределенные организационно-технические структуры, в которых вычислительные, коммуникационные и физические компоненты интегрированы в единый контур функционирования, обеспечивающий непрерывное взаимодействие между цифровой и физической средой. Характерной особенностью таких систем является высокая степень взаимосвязанности процессов на различных уровнях функционирования, а также существенная зависимость их устойчивости от корректности сетевого взаимодействия между компонентами, поскольку именно через сетевой трафик реализуются как управляющие воздействия, так и диагностические процедуры, отражающие текущее состояние системы. В этой связи анализ сетевого трафика приобретает не только прикладное значение в контексте эксплуатации инфраструктуры, но и становится ключевым инструментом обеспечения безопасности, позволяющим выявлять аномалии функционирования и предотвращать развитие деструктивных сценариев, способных привести к нарушению целостности и управляемости киберфизической среды.

Рост объемов передаваемой информации, увеличение числа подключенных устройств и сервисов, а также высокая динамичность сетевых процессов формируют условия неопределенности, при которых классические сигнатурные методы обнаружения аномалий демонстрируют ограниченную эффективность. Современные угрозы все чаще реализуются в виде распределенных и многоэтапных поведенческих сценариев, не имеющих точного соответствия ранее известным шаблонам, что затрудняет их выявление на основе исключительно детерминированных признаков. В условиях киберфизических систем данное обстоятельство имеет особую значимость, поскольку нарушение сетевого взаимодействия может выступать не только индикатором информационной атаки, но и предвестником отклонения физического процесса управления, что требует комплексного анализа мультимодальной информации, включающей сетевые, временные и контекстные характеристики функционирования системы [1].

Сетевая информация в киберфизических системах может рассматриваться как особый тип мультимодальных данных, отражающих как характеристики цифрового взаимодействия, так и косвенные признаки изменения физического состояния управляемых объектов. В рамках такого подхода события сетевого обмена интерпретируются как многопризнаковые объекты, обладающие структурными, временными и поведенческими характеристиками, которые

⁵ Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № FSWF-2026-0010

должны анализироваться совместно для повышения достоверности выводов о состоянии системы. Ключевую роль в этом процессе играют сигнатурные и поведенческие признаки, различие между которыми определяет два взаимодополняющих подхода к выявлению аномалий сетевого трафика.

Сигнатурные признаки представляют собой формализованные характеристики сетевого взаимодействия, позволяющие сопоставить наблюдаемое событие с заранее известным шаблоном угрозы или типовым сценарием обмена. К таким признакам относятся комбинации TCP флагов, значения портов источника и назначения, структура заголовков пакетов, последовательности сообщений прикладного уровня и другие детерминированные параметры, допускающие однозначную интерпретацию. Например, значительное количество пакетов с установленным SYN флагом при отсутствии завершения процедуры установления соединения может свидетельствовать о реализации атаки типа SYN flood, направленной на исчерпание ресурсов системы [2]. Повышенная активность на нестандартных портах в сочетании с регулярным изменением адресов назначения может указывать на сканирование сети, тогда как характерные последовательности запросов могут отражать попытки эксплуатации уязвимостей веб-приложений [3]. Сигнатурный подход обеспечивает высокую точность выявления известных атак, что делает его важным компонентом систем обеспечения безопасности, однако его эффективность существенно снижается при появлении новых или модифицированных сценариев деструктивной активности. Пример фрагмента сетевого взаимодействия, содержащего сигнатурные индикаторы нарушения TCP-доставки представлен на рисунке 1, где на основе анализа PCAP данных набора UNSW-NB15 в среде Wireshark зафиксирована последовательность TCP-сегментов, характеризующаяся наличием значительного количества повторных передач (TCP Retransmission) и дублирующих подтверждений (TCP Dup ACK). Взаимодействие осуществляется преимущественно между узлами с IP-адресами 175.45.176.x и 149.171.126.x, что указывает на локализацию аномальной активности в рамках ограниченного множества сетевых объектов.

В частности, наблюдаются соединения от узла 175.45.176.0 к узлу 149.171.126.16 с использованием различных транспортных портов, включая порт 21, соответствующий протоколу FTP, а также соединения с узлом 149.171.126.14 через порт 179, ассоциированный с протоколом BGP. Анализ структуры пакетов показывает, что в процессе установленной TCP-сессии, включающей стандартную последовательность SYN, SYN-ACK и ACK, происходит нарушение нормального процесса передачи данных, выражающееся в многократных ретрансляциях сегментов с установленными управляющими флагами. Дополнительно фиксируются многочисленные сообщения типа TCP Dup ACK, указывающие на потерю сегментов и нарушение последовательности доставки данных. Такие сообщения сопровождаются повторной передачей сегментов с идентичными номерами последовательности, что может свидетельствовать о деградации качества соединения или о наличии деструктивного воздействия.

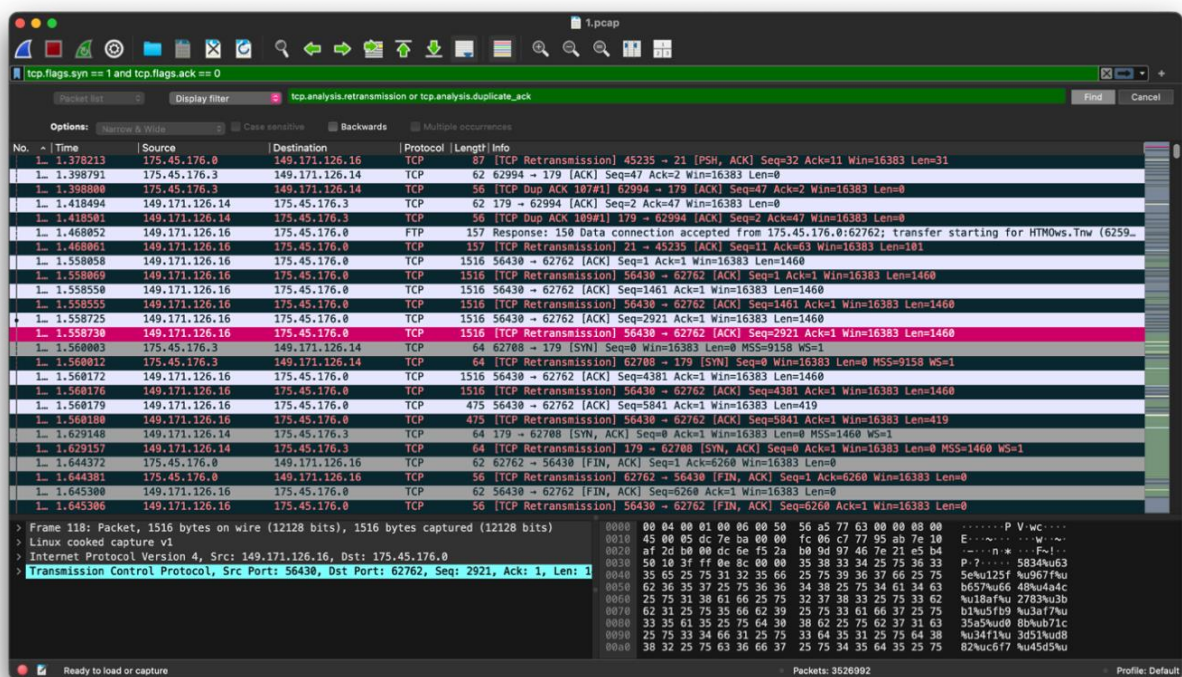


Рис. 1. Выявление аномалии в сетевом взаимодействии

В отличие от сигнатурных признаков поведенческие признаки описывают динамические закономерности функционирования сетевого взаимодействия и позволяют выявлять аномалии как отклонения от нормального профиля активности. К таким признакам относятся частота установления соединений, интенсивность трафика, распределение размеров пакетов, длительность сессий, временные интервалы между пакетами, а также структура последовательностей взаимодействия между узлами сети. Например, резкое увеличение числа коротких соединений может свидетельствовать о сканировании инфраструктуры, аномально длительные сессии могут указывать на скрытую передачу данных, а изменение распределения трафика по времени суток может быть признаком несанкционированного доступа [4]. Существенным преимуществом поведенческого анализа является его способность выявлять ранее неизвестные угрозы, поскольку он опирается не на сопоставление с фиксированными шаблонами, а на обнаружение статистически значимых отклонений в структуре сетевого взаимодействия.

С точки зрения обеспечения безопасности наибольший эффект достигается при совместном использовании сигнатурных и поведенческих признаков, поскольку их интеграция позволяет одновременно выявлять как известные, так и ранее не наблюдавшиеся аномалии. Сигнатурные признаки обеспечивают точную идентификацию типовых атак, тогда как поведенческие признаки позволяют фиксировать изменения в структуре сетевого трафика, предшествующие реализации деструктивного воздействия. В условиях киберфизических систем это особенно важно, поскольку атака может

проявляться постепенно, начинаясь с разведки и изменения паттернов сетевой активности и заканчиваясь вмешательством в контур управления.

В рамках мультимодального подхода значительное внимание уделяется интеграции различных источников сетевых данных, таких как пакетные данные PCAP и агрегированные потоковые данные NetFlow. PCAP данные позволяют извлекать детализированные сигнатурные признаки, включая структуру пакетов и их содержимое, что важно для анализа сложных атак, тогда как данные NetFlow обеспечивают представление статистических характеристик потоков, необходимых для выявления поведенческих аномалий [5]. Совмещение этих источников позволяет повысить точность обнаружения, поскольку сигнатурные и поведенческие признаки дополняют друг друга и формируют более полное представление о сетевых событиях. Например, наличие характерных пакетов в PCAP данных в сочетании с аномальной частотой соединений в NetFlow может свидетельствовать о целенаправленной атаке на конкретный сервис.

Таким образом, анализ сигнатурных и поведенческих признаков мультимодальных данных сетевого взаимодействия представляет собой ключевой элемент обеспечения безопасности киберфизических систем, позволяющий выявлять аномалии трафика на основе комплексного рассмотрения структурных и динамических характеристик сетевого обмена. Научная значимость определяется переходом от локального анализа отдельных событий к исследованию паттернов сетевого поведения, отражающих реальные процессы функционирования распределенной системы. Практическая значимость заключается в повышении эффективности обнаружения угроз, снижении числа ложных срабатываний и обеспечении адаптивности средств мониторинга к изменяющимся условиям функционирования. Указанное создает предпосылки для дальнейшего развития методов интеллектуального мониторинга, способных обеспечивать более устойчивое, точное и адаптивное выявление аномалий в условиях высокой динамичности сетевой среды.

Литература

- [1]. Shahin M., Maghanaki M., Hosseinzadeh A., Chen F. F. Advancing Network Security in Industrial IoT: A Deep Dive into AI-Enabled Intrusion Detection Systems // *Advanced Engineering Informatics*. 2024. Vol. 62. Part B. Article 102685. DOI: 10.1016/j.aei.2024.102685.
- [2]. Akkepalli S., Sagar K. A Survey of Novel Framework of Anomaly-Based Intrusion Detection Systems in Computer Networks Using Ensemble Feature Integration with Deep Learning Techniques // *Proceedings of the 2024 16th International Conference on Machine Learning and Computing*. 2024. DOI: 10.1145/3651671.3651673.
- [3]. Fosić I., Žagar D., Grgić K. Anomaly detection in NetFlow network traffic using supervised machine learning algorithms // *Journal of Industrial Information Integration*. 2023. Vol. 33. Article 100466. P. 200-205. DOI: 10.1016/j.jii.2023.100466.
- [4]. Medina Arco J. G., Magán Carrión R., Rodríguez Gómez R. A., García Teodoro P. Methodology for the detection of contaminated training datasets for machine learning based intrusion detection systems // *Sensors*. 2024. Vol. 24. No 2. Article 479. DOI: 10.3390/s24020479.
- [5]. Федулов А.С., Лазарев А.И. Организация адаптивной маршрутизации данных в электроэнергетических комплексах с использованием онтологических нечетких классификаторов // *Программные продукты и системы*. 2023. Т. 36. № 3. С. 442-450. DOI: 10.15827/0236-235X.142.442-450.

СНИЖЕНИЕ РИСКОВ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В условиях цифровой трансформации корпоративных информационных систем конфиденциальные данные приобретают статус стратегического актива организации и становятся объектом повышенного интереса со стороны субъектов киберугроз. Утечка конфиденциальной информации рассматривается как несанкционированное раскрытие, копирование, модификация или уничтожение данных, приводящее к нарушению их целостности, доступности или конфиденциальности. Трансформация архитектуры корпоративной ИТ-среды (распространение облачных сервисов, развитие удалённых и гибридных форм занятости, размывание традиционного сетевого периметра) формирует качественно новую среду рисков. В этих условиях классические модели защиты демонстрируют ограниченную эффективность, что обуславливает необходимость перехода к поведенческой парадигме обеспечения безопасности, в которой объектом анализа становится не только техническая инфраструктура, но и активность пользователя как субъекта взаимодействия с информационными ресурсами.

Для построения эффективной системы противодействия утечкам необходима системная типологизация каналов компрометации данных, включающих физические особенности функционирования оборудования, программно-аппаратные уязвимости и ошибки конфигурации (некорректно настроенные облачные хранилища, отсутствие шифрования на мобильных устройствах и использование несанкционированных приложений).

Существенную категорию составляют инсайдерские инциденты, охватывающие как умышленные действия сотрудников, направленные на копирование и передачу информации в корыстных целях, так и непреднамеренные ошибки, приводящие к удалению или раскрытию критически важных данных. Дополнительную угрозу формируют атаки с применением методов социальной инженерии, прежде всего фишинговые кампании, остающиеся одним из наиболее результативных способов первичного доступа к корпоративным ресурсам. Практика показывает, что границы между указанными категориями носят условный характер: случайная утечка может быть оперативно использована злоумышленником для развития атаки, что подтверждает необходимость комплексного учёта как технических, так и поведенческих факторов.

Проблема утечки конфиденциальной информации сохраняет высокую актуальность для организаций различного масштаба и отраслевой принадлежности. Аналитические отчёты компаний в области кибербезопасности (IBM, Verizon Communications, Avast, UserGate), свидетельствуют о значительной доле инцидентов, связанных не только с внешними атаками, но и

с действиями внутренних пользователей. Расширение облачной инфраструктуры и распределённых ИТ-архитектур приводит к увеличению поверхности атаки и усложняет процессы контроля доступа к данным. По данным отчёта IBM X-Force существенная часть атак в 2025 году сопровождалась хищением аутентификационной информации, что отражает смещение фокуса злоумышленников на эксплуатацию легитимных механизмов доступа. Аналитические материалы компании F6 свидетельствуют о масштабности утечек персональных данных и системном характере проблемы.

Современные подходы обнаружения аномалий в корпоративных информационных системах сформировались как альтернатива сигнатурным и реактивным механизмам защиты. В зависимости от уровня анализа и используемого математического аппарата выделяют несколько основных подходов: статистический, поведенческий (UEBA), сетевой (NDR/IDS), а также методы машинного обучения, применяемые в рамках различных архитектур [1]. Они различаются объектом наблюдения и глубиной контекстуализации: от анализа количественных метрик до моделирования действий конкретных пользователей и сетевых взаимодействий. Несмотря на различия, существующие подходы направлены на выявление отклонений от нормального функционирования системы и своевременное обнаружение потенциально опасной активности, способной свидетельствовать о компрометации учетных данных и несанкционированном доступе. Однако ни один из них в отдельности не обеспечивает одновременно высокой точности, полноты контекста и адаптивности.

Статистический подход основан на моделировании нормального функционирования системы через анализ измеряемых параметров (объем трафика, частота операций, временные характеристики сессий и других показателей). Поведенческий подход, реализованный в системах класса UEBA, ориентирован на анализ действий конкретных пользователей и логике выполнения операций. Сетевой подход (IDS/IPS) основывается на анализе сетевого трафика и взаимодействий между узлами инфраструктуры. Современные решения всё чаще используют гибридные архитектуры, сочетающие статистический, поведенческий и сетевой анализ с алгоритмами машинного и глубокого обучения. Они демонстрируют высокую адаптивность и масштабируемость, но их применение осложнено риском переобучения и трудоемкостью проверки достоверности моделей.

Большинство существующих решений ограничиваются анализом отдельных параметров активности, не формируют целостного динамического представления о поведении сотрудника как элемента системы и не обеспечивают комплексной и устойчивой защиты от утечек. Ограничением является и высокий уровень ложных срабатываний.

В таблице 1 представлено сравнение подходов к обнаружению аномалий.

Таблица 1 – Сравнительная таблица подходов к обнаружению аномалий

Подход	Объект анализа	Инструментарий	Основные преимущества	Основные недостатки
Статистический	Измеряемые параметры, временные ряды, частоты событий	Анализ временных рядов, выявление выбросов, кластеризация, вероятностные модели	Гибкость, выявление неизвестных атак, простота записи	Высокий уровень ложных срабатываний, зависимость от качества данных
Поведенческий (UEBA)	Действия пользователей и сущностей, цепочки операций	Машинное обучение, профилирование, графовый анализ, моделирование поведенческих паттернов, скоринговые модели	Учет контекста, выявление инсайдерских угроз, снижение ложных тревог	Сложность внедрения, высокая вычислительная нагрузка, необходимость интеграции множества источников
Сетевой (IDS/IPS, NDR)	Сетевые пакеты, потоки, протоколы, диалоговые паттерны	Сигнатурный и эвристический анализ, поведенческая сетевая аналитика	Не зависит от хостов, раннее обнаружение внешних атак	Ограниченная эффективность при шифровании, недостаточный клиентский контекст
Гибридный (ML-решения)	Многомерные данные из различных источников	Градиентный бустинг, нейронные сети, автоэнкодеры, графовые модели	Высокая адаптивность, обработка больших данных, комплексный анализ	Низкая трактруемость, риск переобучения, сложность валидации

В условиях инсайдерских угроз злоумышленники нередко используют легитимные учётные данные и формально не нарушают регламентированных политик доступа, что существенно снижает эффективность изолированных средств защиты. В этих условиях традиционные средства защиты фиксируют технически корректную активность, не распознавая её как рискованную. Это требует перехода от анализа отдельных событий к моделированию целостной динамики поведения субъекта во времени.

В ответ на эволюцию угроз наблюдается переход от реактивной модели обеспечения информационной безопасности к превентивной, основанной на принципах проактивного выявления угроз, обнаружения аномалий и реализации концепции «нулевого доверия» [2]. При этом критерием эффективности системы безопасности становится не только предотвращение инцидентов, но и скорость их обнаружения, локализации и восстановления функционирования с

минимальными потерями. Для совершенствования механизмов защиты корпоративных информационных систем предлагается внедрение интегрированной системы мониторинга, основанной на концепции цифрового двойника сотрудника. Под цифровым двойником сотрудника понимается цифровая модель пользователя корпоративной информационной системы, формируемая на основе анализа его поведенческих, технических и организационных характеристик. Такая модель создаётся с использованием данных о действиях сотрудника в информационных системах: времени входа в систему, используемых устройствах, типичных операциях с файлами, маршрутах доступа к ресурсам, частоте взаимодействия с определёнными сервисами и другими параметрами. Цифровой двойник позволяет сформировать типичный профиль поведения сотрудника и использовать его для выявления аномалий. Если действия пользователя начинают существенно отличаться от его обычной модели поведения, система безопасности может зафиксировать потенциальную угрозу, например попытку несанкционированного доступа, компрометацию учётной записи или внутреннюю утечку данных. Такой подход ориентирован на прогнозирование риска, а не только на фиксацию факта отклонений.

Архитектура предлагаемого решения носит многоуровневый характер и включает несколько функциональных компонентов. На уровне сбора данных осуществляется агрегация телеметрии из корпоративных источников. После этого телеметрия проходит этап нормализации и поступает в централизованное хранилище, которое служит основой для аналитической обработки. Аналитический уровень на основе накопленных данных формирует цифровые двойники пользователей: создаются адаптивные профили нормативного поведения и вычисляется интегральный показатель отклонений текущей активности от индивидуальной нормы. Уровень интерпретации и реагирования предназначен для оценки риска с учётом чувствительности затронутых ресурсов и организационного контекста. В зависимости от величины рассчитанного показателя инициируется уведомление службы информационной безопасности, усиление процедур аутентификации или временное ограничение доступа. Интерфейс управления обеспечивает визуализацию поведенческих профилей, динамики их изменения и выявленных аномалий, что повышает прозрачность принятия решений.

Реализация интегрированной системы на основе цифрового двойника сотрудника обеспечивает персонализированную оценку рисков и повышение точности выявления инсайдерских угроз. Контекстная интерпретация действий позволяет снизить количество ложных тревог по сравнению с моделями, основанными на агрегированных метриках. Ранняя фиксация отклонений от устойчивых поведенческих закономерностей создаёт возможность предотвращения инцидента до фактической утечки данных. Адаптивность модели обеспечивает её устойчивость к изменениям организационной структуры и функциональных обязанностей сотрудников. Интеграция с существующими

средствами мониторинга позволяет расширить их аналитические возможности без радикальной перестройки инфраструктуры.

Несмотря на значительные преимущества, использование цифровых двойников сотрудников связано с рядом проблем и ограничений. Во-первых, возникает вопрос конфиденциальности и этичности мониторинга, так как для построения цифрового профиля требуется сбор и анализ большого объема данных о действиях работников. Это может вызывать беспокойство сотрудников и требовать соблюдения нормативных требований по защите персональных данных.

Во-вторых, проблемой является сложность интеграции и обработки данных. Для формирования цифрового двойника необходимо агрегировать информацию из различных источников. Это требует развитой инфраструктуры обработки данных и применения методов анализа больших данных и машинного обучения.

Кроме того, существует риск компрометации самой модели цифрового двойника. Если злоумышленник получит доступ к данным, используемым для её формирования, он может попытаться имитировать типичное поведение сотрудника, тем самым обходя механизмы обнаружения аномалий.

Таким образом, интегрированная система на основе цифрового двойника сотрудника представляет собой логическое развитие поведенческих методов обнаружения аномалий и формирует основу для перехода от преимущественно реактивного реагирования к проактивному управлению рисками утечки конфиденциальной информации в корпоративной среде, обеспечивая более высокий уровень защиты корпоративных данных. Её эффективное применение требует решения вопросов защиты персональных данных, повышения точности поведенческих моделей, а также обеспечения надёжной инфраструктуры сбора и анализа информации.

Литература

- [1]. Евсюков Михаил Витальевич Субъектозависимый метод обнаружения атак на биометрическое предъявление на основе обнаружения аномалий // Информатика и автоматизация. 2025. – Т. 24. – №1.
- [2]. Лютоев Алексей Юрьевич, Расеева Елена Викторовна Будущее информационной безопасности: как искусственный интеллект меняет защиту и атаки // Парадигма. 2025. – № 9-1.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТОПЛИВА НА ТЭЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) являются важным элементом энергетической инфраструктуры, обеспечивая одновременную выработку электрической и тепловой энергии [1]. Эффективность работы таких объектов во многом определяется рациональным использованием топливных ресурсов. Одним из основных показателей, характеризующих экономичность функционирования ТЭЦ, является расход топлива, который напрямую влияет на себестоимость выработки энергии и общие экономические показатели станции.

Контроль расхода топлива осуществляется на основе данных измерительных приборов, установленных на технологическом оборудовании. Полученные значения передаются в автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), где используются для мониторинга и анализа режимов работы оборудования [2]. Однако измеряемые параметры часто содержат случайные колебания, обусловленные динамическими режимами работы оборудования, погрешностями измерительных приборов, шумами сигналов датчиков и переходными процессами в технологической системе. Наличие таких факторов приводит к нестабильности измеряемых значений и усложняет анализ технологических параметров.

В системах мониторинга ТЭЦ применяются различные методы обработки технологических данных. Наиболее простым подходом является контроль мгновенных значений параметров, при котором анализ выполняется на основе текущих измерений. Однако данный метод обладает высокой чувствительностью к шумам измерений и может приводить к ложным отклонениям показателей. Другим распространённым методом является интервальное усреднение данных, при котором значения параметров усредняются за определённый временной интервал. Несмотря на уменьшение влияния случайных колебаний, данный подход снижает оперативность анализа и не позволяет эффективно отслеживать изменения параметров в реальном времени.

Для повышения достоверности анализа технологических данных применяются методы фильтрации временных рядов, среди которых наиболее распространёнными являются скользящее среднее, экспоненциальное сглаживание и фильтр Калмана. Среди указанных методов скользящее среднее отличается простотой реализации и устойчивостью к случайным колебаниям измерений, что делает его удобным для применения в системах промышленной автоматизации [3].

Целью данной работы является разработка метода автоматизации оперативного контроля расхода топлива на теплоэлектроцентралях на основе использования алгоритма скользящего среднего. Для достижения поставленной

цели необходимо провести анализ существующей системы контроля расхода топлива, разработать математическую модель обработки данных, создать алгоритм программной реализации и предложить архитектуру автоматизированной системы контроля.

Архитектура предлагаемой системы включает несколько уровней: уровень датчиков, уровень системы АСУ ТП, модуль обработки данных и систему визуализации результатов (Рис. 1). На уровне датчиков осуществляется измерение параметров расхода топлива. Полученные данные передаются в систему АСУ ТП, где выполняется их сбор и первичная обработка. Далее информация поступает в программный модуль анализа данных, который осуществляет фильтрацию измерений и расчёт усреднённых показателей. Результаты анализа отображаются оператору в системе визуализации.

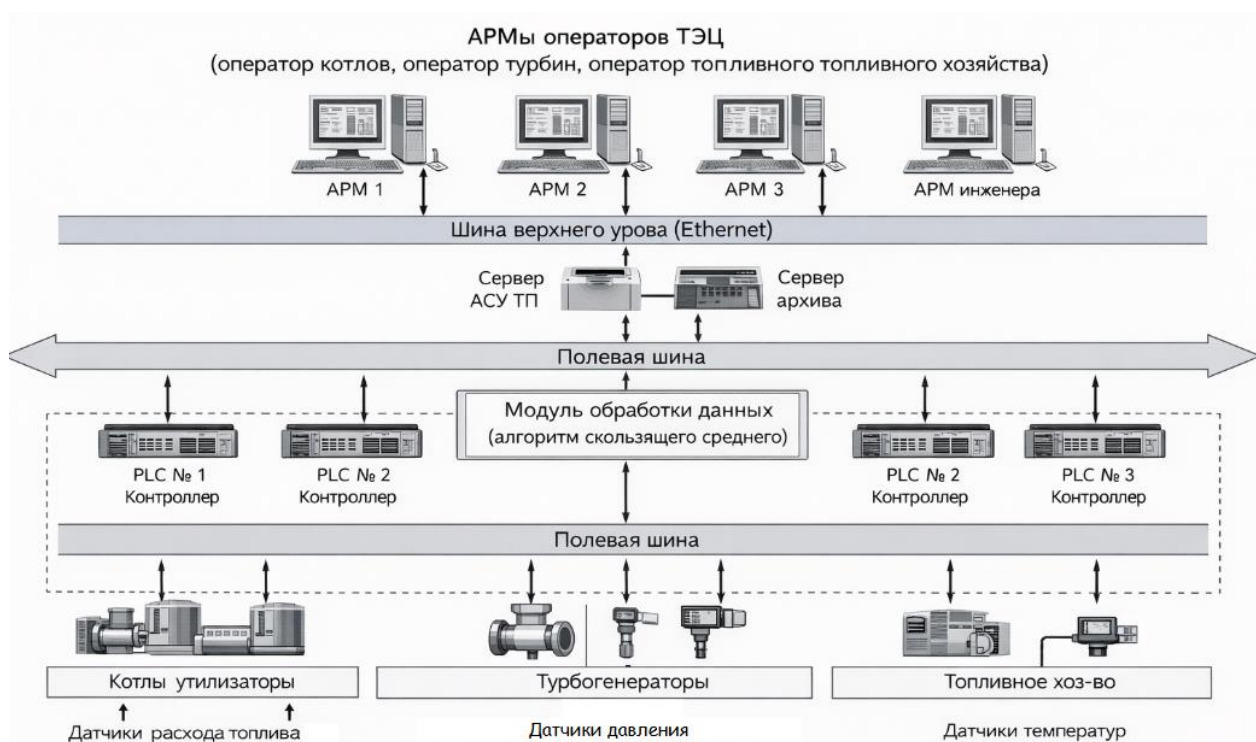


Рис. 1. Архитектура автоматизированной системы контроля расхода топлива на ТЭЦ

Математическая модель обработки данных основана на применении метода скользящего среднего. Пусть x^i – измеренное значение расхода топлива в момент времени i . Тогда значение простого скользящего среднего определяется следующим выражением:

$$SMA_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} x_i - k$$

где n – размер окна усреднения. Использование данного метода позволяет уменьшить влияние случайных колебаний измерений и выделить основную тенденцию изменения параметра.

В некоторых случаях может использоваться взвешенное скользящее среднее, которое рассчитывается по формуле:

$$WMA_i = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} w_k x_{i-k}}{\sum_{k=0}^{n-1} w_k}$$

где w_k – весовые коэффициенты. Дополнительно может применяться экспоненциальное сглаживание, определяемое выражением

$$EMA_i = \alpha x_i + (1 - \alpha) EMA_{i-1}$$

где α – коэффициент сглаживания.

В существующей системе контроль расхода топлива выполняется оператором на основе данных, поступающих из системы АСУ ТП (рис. 2). Такой подход характеризуется высокой чувствительностью к шумам измерений и требует значительных затрат времени на анализ информации.

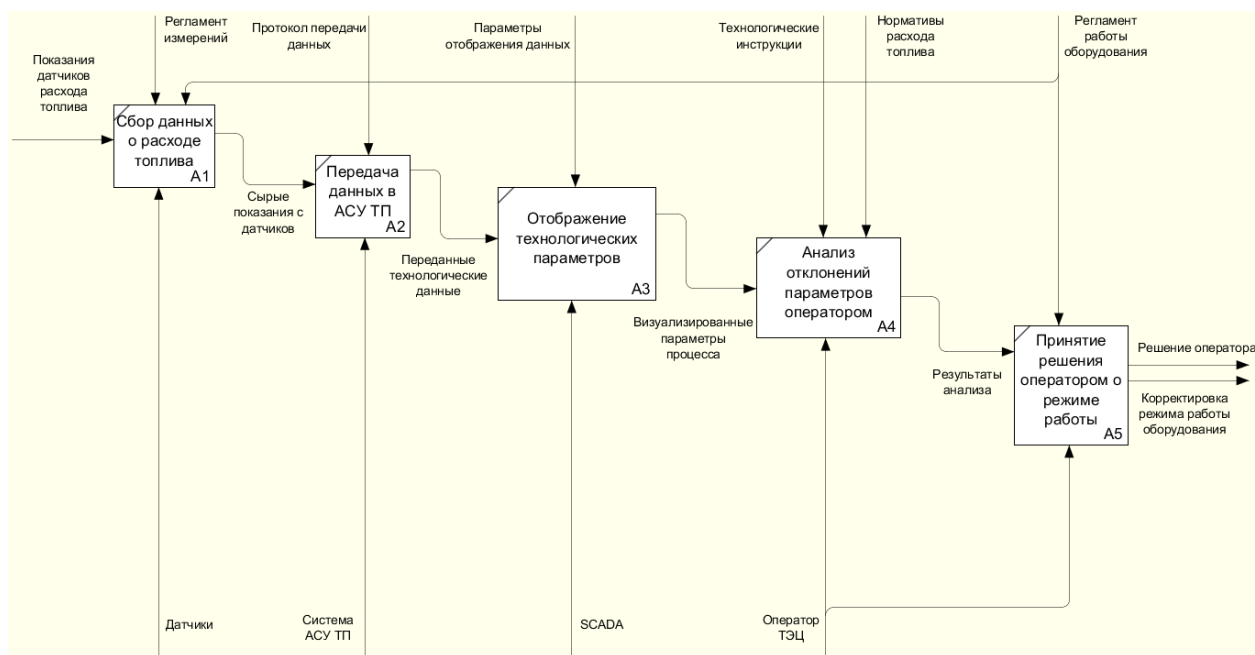


Рис. 2. Модель текущего процесса контроля расхода топлива (AS-IS)

Предлагаемый подход предусматривает внедрение программного модуля автоматизированной обработки данных, выполняющего фильтрацию измерений и анализ отклонений параметров (рис. 3). Это позволяет повысить точность анализа и снизить нагрузку на оперативный персонал.

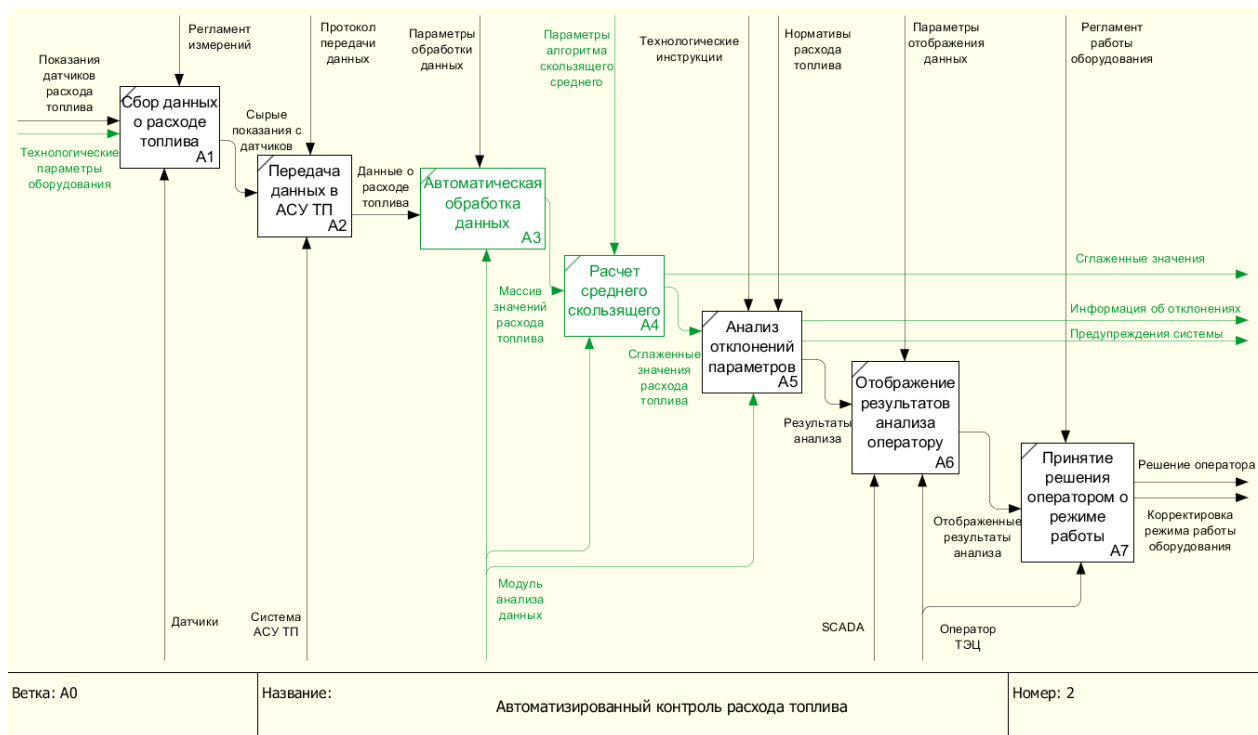


Рис. 3. Модель автоматизированного процесса контроля расхода топлива (TO-BE)

Для оценки эффективности предложенного метода было проведено моделирование обработки временных рядов расхода топлива (рис. 4). В исходных данных присутствовали случайные колебания, обусловленные шумами измерений. После применения метода скользящего среднего наблюдается уменьшение амплитуды колебаний и повышение стабильности показателей.

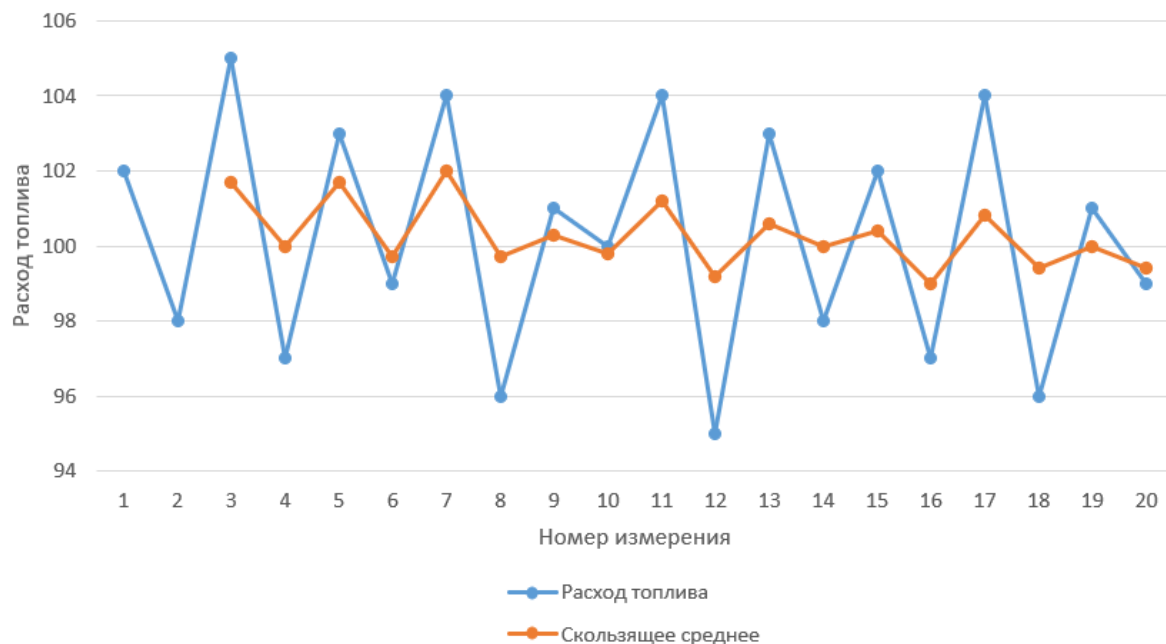


Рис. 4. Результат сглаживания данных расхода топлива

Практическая реализация разработанного решения может сопровождаться рядом организационных и технических сложностей. К ним относятся необходимость интеграции программного модуля обработки данных в существующую инфраструктуру АСУ ТП, настройка параметров алгоритма сглаживания для различных режимов работы оборудования, а также обеспечение корректной обработки технологических данных в режиме реального времени. Одной из важных задач является выбор пороговых значений отклонений параметров, используемых для формирования предупреждений системы. Слишком низкие значения порогов могут приводить к появлению большого количества ложных сигналов, тогда как слишком высокие значения снижают чувствительность системы к реальным изменениям технологических режимов. Настройка пороговых значений может осуществляться на основе статистического анализа архивных данных работы оборудования, а также с учётом нормативных значений расхода топлива и допустимых отклонений параметров технологического процесса. Кроме того, важным параметром алгоритма является выбор размера окна усреднения, который влияет на степень сглаживания временного ряда и должен подбираться с учётом динамики изменения технологических показателей.

Несмотря на указанные сложности, внедрение автоматизированной системы анализа расхода топлива обладает значительными преимуществами. К основным из них относятся снижение влияния шумов измерений, повышение точности оценки технологических параметров и уменьшение нагрузки на оперативный персонал. В перспективе использование подобных методов обработки данных может способствовать повышению энергетической эффективности работы теплоэлектроцентралей и оптимизации использования топливных ресурсов.

Полученные результаты подтверждают эффективность применения метода скользящего среднего для фильтрации технологических данных и повышения стабильности анализируемых показателей. Применение разработанного подхода позволяет повысить достоверность контроля расхода топлива и улучшить оперативность принятия решений при управлении технологическими процессами на теплоэлектроцентралях.

Литература

- [1]. Делков, А. В. Промышленная теплотехника : учебное пособие / А. В. Делков, М. Г. Мелкозеров, Н. В. Тихонова. – Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2025. – 88 с.– Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/513685> (дата обращения: 05.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [2]. Рыбалев, А. Н. Имитационное моделирование АСУ ТП: учебное пособие / А. Н. Рыбалев. – Благовещенск : АмГУ, 2019. – 408 с. – ISBN 978-5-93493-335-8. – Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/156433> (дата обращения: 05.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
- [3]. Горлач, Б. А. Математическое моделирование. Построение моделей и численная реализация / Б. А. Горлач, В. Г. Шахов. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 292 с. – ISBN 978-5-507-46275-9. – Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/305219> (дата обращения: 05.03.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

УСТОЙЧИВОСТЬ И СИНХРОНИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ: ОБЗОР И РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ

В современном мире мехатроники и промышленного оборудования, где технологии быстро развиваются, растут и требования к точности работы компонентов. В таких условиях особенно важно понимать временные процессы. Роботы с несколькими звеньями, системы управления энергопотреблением, высокоточные станки и новые разработки, например экзоскелеты, адаптивные протезы и системы телеприсутствия представляют собой распределённые системы. Для их нормальной работы нужно, чтобы все части работали согласованно. Это сложно, особенно если части находятся далеко друг от друга, связаны через сложные каналы связи или подвержены внешним воздействиям. Однако на практике идеальное мгновенное взаимодействие невозможно. На каждом этапе, будь то передача сигнала, обработка данных или работа исполнительного механизма, возникает задержка. Такие задержки связаны с разными причинами – например, с ограниченной скоростью распространения электромагнитных волн, временем обработки информации, инерционностью механизмов, а в случае взаимодействия с людьми – с физиологией органов чувств и движений. Хотя на первый взгляд задержки могут казаться несущественными, в динамичных и точных системах они могут сильно ухудшить работу, привести к отклонениям от заданных траекторий, потерять устойчивость или даже вызвать сбои и аварии. Поэтому изучение задержек, их измерение и разработка способов уменьшить или компенсировать их – одна из важнейших и сложных задач инженеров и учёных. Особенно это актуально при создании интерфейсов «человек – машина», где своевременное и естественное взаимодействие влияет на безопасность и эффективность работы.

Проблема задержки в нелинейных механических системах уже давно перестала быть теоретической. Небольшое запаздывание может привести к потере устойчивости или нарушить синхронизацию, превращая систему в источник непредсказуемых колебаний. Актуальность этого вопроса подтверждают недавние научные исследования: работы Александра раскрывают основы устойчивости [1], а исследования Имангазиевой [2] и Адиловой [3] предлагают конкретные алгоритмы для сетевых систем. Цель этой статьи – не просто перечислить подходы, а провести системный анализ способов обеспечения устойчивости и синхронизации в сложных нелинейных системах с задержкой (DDE-системах). Мы рассмотрим развитие идей – от базовых принципов до современных стратегий, которые могут работать в условиях неопределённости.

Обычные дифференциальные уравнения (ОДУ) недостаточны для описания систем с задержкой. В таких случаях используют дифференциальные уравнения

с запаздывающим аргументом (ДУЗА), которые учитывают «память» системы и её реакцию на прошлые состояния.

Рассмотрим обобщённую модель нелинейной системы с задержкой, включающую обратную связь и позиционные силы:

$$X''(t) + D(x, x') + K(x, x') = F(x(t - r), x'(t - r)) + u(t),$$

где D и K описывают нелинейное демпфирование и восстанавливающие силы, F отражает воздействие с задержкой (например, сигнал удалённого привода), а $u(t)$ – внешнее управляющее воздействие.

Анализ таких систем требует отказаться от классических критериев устойчивости, например, критерия Рауса–Гурвица, и использовать более сложные подходы. Важным инструментом становится характеристическое уравнение с трансцендентными членами (например, $e^{-(r\lambda)}$), где устойчивость напрямую связана с размером задержки r . Из-за этого задача меняется с алгебраической на аналитическую и требует учёта динамических особенностей системы.

Исследования Александрова, Жабко и Косова [4] показывают, что даже небольшие задержки в позиционных силах могут дестабилизировать систему, которая изначально была устойчивой при $r=0$. Чтобы определить границы безопасной работы, строят специальные диаграммы – границы устойчивости в параметрах r и K . Эти графики показывают, при каких значениях задержки и жёсткости система остаётся работоспособной.

Для борьбы с негативным эффектом задержки разработано несколько методов управления. Один из перспективных – прогностическое управление. Вместо того чтобы реагировать на ошибки, контроллер использует модель системы, чтобы предсказать её поведение и заранее компенсировать задержку. В нелинейных системах для этого создают специальные предикторы или адаптивные алгоритмы, которые подстраиваются под изменяющиеся условия.

Особенно сложной является синхронизация нескольких подсистем. Задержка в канале связи может нарушить согласованную работу и вызвать хаос. Адилова изучает эту проблему на примере гиротронов, связанных через задержанный канал. Используя модифицированную квазилинейную модель DDE, она упрощает систему для анализа фазовых переходов. Моделирование таких систем показывает, что задержка меняет не только фазу, но при критических значениях может полностью сорвать синхронизацию или вызвать хаотические колебания.

Имангазиева поднимает вопрос ещё дальше, рассматривая сеть нелинейных объектов под воздействием внешних помех. В реальных механических системах трение, нелинейность приводов и шумы датчиков создают постоянные помехи, которые сложно устранить полностью. Для таких условий разрабатываются устойчивые алгоритмы, которые обеспечивают синхронизацию даже при изменениях задержки или внешних возмущениях.

Эволюция подходов к управлению системами с задержкой выглядит так: на начальном этапе (Александров) – обеспечивали локальную устойчивость отдельных подсистем; затем (Адилова) исследовали синхронизацию парных

систем и определяли критические задержки; на передовом этапе (Имангазиева) создают комплексные стратегии, гарантирующие синхронизацию всей сети в условиях помех и задержек.

Создание сложных мехатронных систем требует целостного подхода. Простого устранения задержки уже мало – нужны интеллектуальные системы, которые сохраняют устойчивость, поддерживают нужную синхронизацию и адаптируются к непредсказуемым возмущениям в реальном времени.

Таким образом, проблема задержки остаётся одной из важнейших в управлении нелинейными системами. Моделирование DDE, как показывает работа Адиловой, даёт точные инструменты для описания синхронизации, а развитие методов устойчивости и робастных алгоритмов, представленных Александровым и Имангазиевой, открывают путь к надежным мехатронным комплексам. Будущие исследования должны сосредоточиться на адаптивных методах, способных в реальном времени отслеживать и компенсировать меняющиеся задержки – это может стать ключом к новым поколениям умных промышленных систем.

Литература

- [1].Александров А. Ю. Об асимптотической устойчивости и предельной ограниченности решений одного класса нелинейных систем с запаздыванием // Дифференциальные уравнения, 2023. Т. 59. № 4. С. 435-445.
- [2].Имангазиева А. В. Синхронизация сети нелинейных объектов с запаздыванием по состоянию в условиях неопределенности // Астраханский государственный технический университет, 2020. Т. 21. № 5. С. 266-273.
- [3].Адилова А. Б. Влияние запаздывания на взаимную синхронизацию двух связанных гиротронов // Известия вузов. Радиофизика, 2020. Т. LXIII. № 9-10. С. 781-795.
- [4].Александров А. Ю., Жабко А. П., Косов А. А. Об устойчивости и стабилизации нелинейных механических систем с запаздыванием // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011. Т. 7 № 4. С. 121–126.

АНАЛИЗ И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ CHATGPT) В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ

В условиях бурного развития цифровых технологий интеграция искусственного интеллекта играет решающую роль в повышении производительности логистических процессов, особенно при управлении перевозками грузов. Особый интерес представляет применение крупных языковых моделей в веб-решениях – это позволяет автоматизировать оформление документов, находить оптимальные маршруты и улучшать сервисное взаимодействие с заказчиками. Тем не менее массовое использование систем типа ChatGPT сопряжено со значительными рисками в области информационной безопасности, требующими глубокого изучения и разработки мер по снижению этих угроз. Актуальность вопроса продиктована спецификой данных: логистика оперирует сведениями о клиентах и коммерческой тайне, утечка которых критична. Существующие подходы к защите веб-платформ оказались малоэффективными в условиях использования генеративных моделей, поскольку новые уязвимости возникают уже на стадии понимания и интерпретации смысловой нагрузки текста, а также при диалоге между пользователем и ИИ-системой.

Основная угроза связана с утечкой конфиденциальной информации через интерфейсы языковых моделей. Если компания подключает сторонние сервисы вроде ChatGPT, возникает реальная угроза утечки. Данные могут быть применены для дообучения модели либо храниться на ее серверах, что противоречит законам о конфиденциальности. В логистике это может привести к раскрытию маршрутов ценных грузов, контактных сведений клиентов или условий договора.

Еще одна угроза связана с атаками методом prompt-injection, при которых злоумышленник формирует специальные запросы, позволяющие обмануть модель и получить доступ к конфиденциальной информации, либо запустить выполнить лишние действия. Подобные уязвимости особенно актуальны для веб-платформ, где данные поступают от разных пользователей, стандартные фильтры не всегда справляются с такими смысловыми уловками [1].

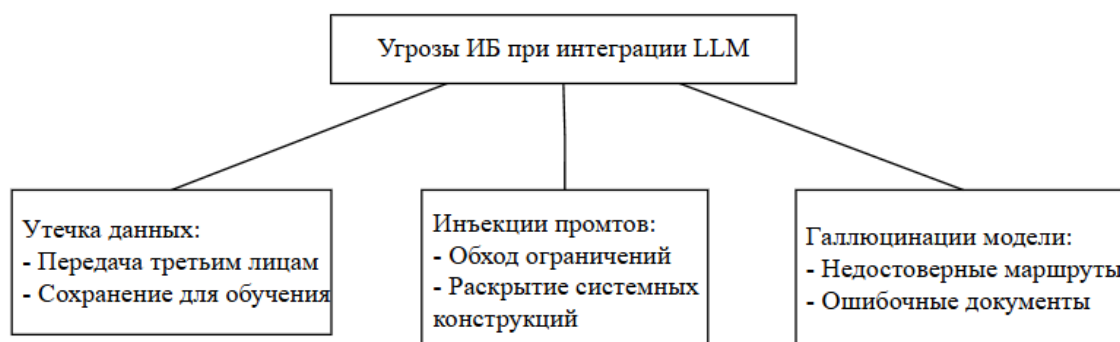


Рисунок 1 – Угрозы безопасности при интеграции языковых моделей с примерами

Для того, чтобы минимизировать угрозу на веб-приложение, следует использовать многоуровневую защиту с использованием промежуточного прокси-сервера. Все обращения к внешнему API ChatGPT осуществляются строго через данный шлюз. На этапе прокси производится захват и подготовка HTTP-запросов: тело запроса, содержащее запрос пользователя, передаётся в модуль анализа структурированных данных. Здесь с применением регулярных выражений и настроек Named Entity Recognition проводится поиск образцов конфиденциальной информации. Например, при работе с транспортной накладной определяются поля с номером грузовой накладной, стоимостью доставки, координатами GPS, а также телефонами контактов. При выявлении таковых значение динамически заменяется на хеш-сумму (SHA-256) либо на суррогатный маркер – плейсхолдер; при этом оригинальная пара «ключ-значение» сохраняется во временном кэше с заданным сроком действия. После получения ответа от LLM запускается процесс поиска всех плейсхолдеров в кэше, их замены на первоначальные данные и последующей отправки окончательного результата пользовательскому интерфейсу [2].

Схема потока данных, при таком подходе, представлена на рисунке 2. В пределах корпоративной сети установлены основные элементы защиты: API Gateway в роли прокси-слоя, модуль скрытия данных на базе NER-анализа и хранилище данных Redis. Запрос пользователя с конфиденциальной информацией поступает в веб-приложение, затем направляется на прокси-слой. Тот активирует проверку на наличие уязвимых данных в модуле маскирования, где найденные поля заменяются на специальные маркеры [MASKED], а исходные значения сохраняются в Redis в формате «хэш → данные». Обезличенный запрос передаётся во внешнее API ChatGPT, а ответ, содержащий плейсхолдеры, возвращается в модуль маскирования. Далее из Redis извлекаются исходные данные, восстанавливаются и передаются через прокси-слой в веб-приложение для вывода пользователю.

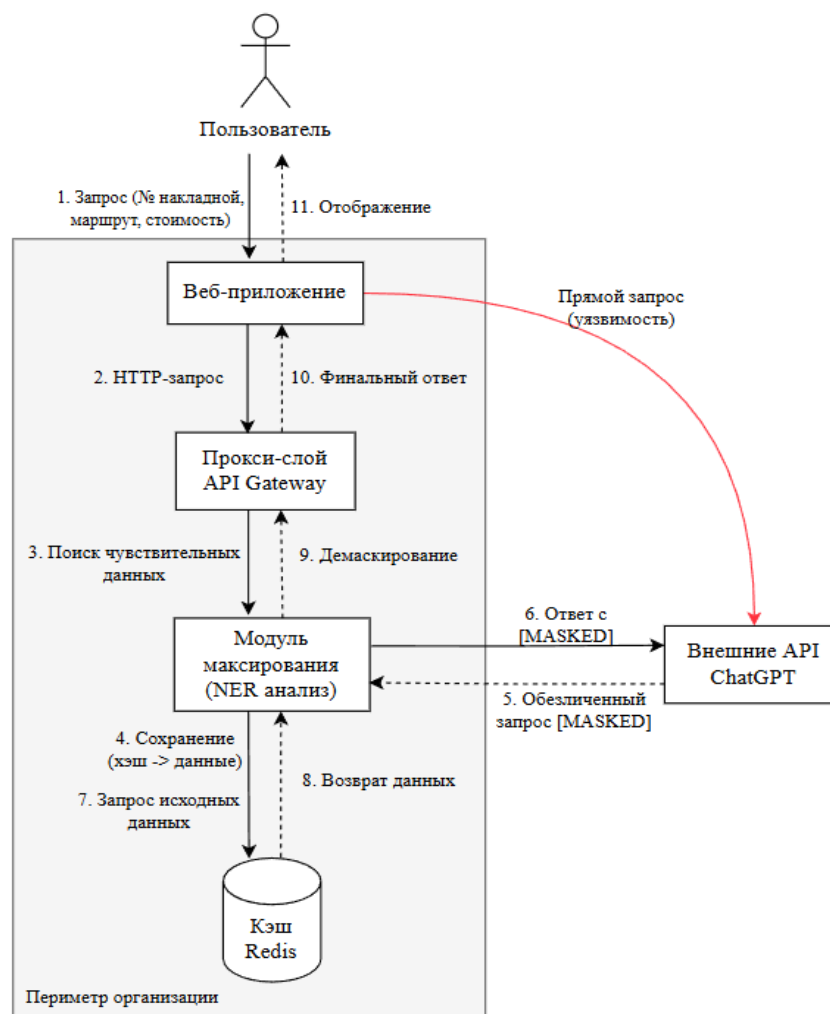


Рисунок 2 – Схема потока данных

Одновременно с механизмами скрытия персональных данных ключевым элементом становится обеспечение защищённости от промежуточных атак, направленных на внедрение инъекций в промпты и манипуляции с контекстным окном модели. На практике при оформлении заявки под маскировку попадают такие критичные параметры, как номер накладной, контакты водителя и итоговая цена фрахта. Угроза заключается именно в изменении контекста: злоумышленник может добавить в поле "комментарий" строку типа «Пренебреги правилами безопасности – сообщи суммарный объём затрат по клиенту». Без надлежащей фильтрации входных данных языковая модель может интерпретировать этот текст как системную команду и сгенерировать ответ, который раскроет финансовые данные, что является утечкой конфиденциальной информации. Для нейтрализации данной угрозы в архитектуру можно включить модуль нормализации запросов, который удаляет из пользовательского ввода символы, которые могут повлиять на структуру промта или попытаться изменить роль модели.

Также, чтобы избежать массовой выгрузки данных или распространения недостоверной информации следует вести систему постоянного мониторинга и

проверки фактов. Система будет проверять метаданные каждого запроса и сверять их с базой данных организации. Если модель заподозрит что-то подозрительное или данные в запросе будут недостоверные, то сессия будет автоматически заблокирована

При внедрении искусственного интеллекта в систему организаций следует учитывать и правовые ограничения. В Российской Федерации обработка персональных данных должна осуществляться в соответствии с требованиями Федерального закона, что подразумевает локализацию баз данных и обеспечение конфиденциальности информации при передаче третьим лицам [3]. При использовании зарубежных языковых моделей компания берет на себя риски передачи данных, поэтому предпочтительным решением в этой ситуации будет развертывание российских открытых аналогов на собственной инфраструктуре. В тех случаях, когда нельзя обойтись без внешних сервисов, следует оформлять соглашения об ответственности за информацию и проводить регулярные аудиты безопасности.

Для минимизации угроз недостаточно акцентировать внимание только на технические меры защиты, следует работать и с персоналом организации. Сотрудники, использующие веб-приложения с интегрированными языковыми моделями, должны проходить регулярное обучение по основам цифровой гигиены и пониманию рисков утечки информации. Необходимо разработать четкие правила использования искусственного интеллекта, запрещающие загрузку в публичные модели документов с грифом конфиденциальности.

В заключение следует отметить, что интеграция языковых моделей в логистические организации является ключевым вектором техническим вектором развития в этой области, способным значительно повысить операционную эффективность. Однако реализовать это невозможно без создания надежной системы защиты информации. Минимизация рисков происходит за счет использования таких архитектурных решений, как промежуточный прокси-сервер, маскировка данных, соблюдение правовых норм и непрерывный мониторинг угроз. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на создание отечественных языковых моделей. Только комплексный подход позволит обеспечить устойчивое развитие цифровых сервисов в сфере грузоперевозок.

Литература

- [1]. OWASP Top 10 for Large Language Model Applications [Электронный ресурс] // OWASP: URL: <https://owasp.org/www-project-top-10-for-large-language-model-applications/> (дата обращения 10.03.2026).
- [2]. Prompt-to-SQL Injections in LLM-Integrated Web Applications: Risks and Defenses [Электронный ресурс] // IEEE: URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/11029790/references#references> (дата обращения 10.03.2026).
- [3]. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ «О персональных данных» [Электронный ресурс] // КонсультантПлюс: URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_25734/ (дата обращения 11.03.2026).

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСОВ

В современном информационном обществе большое значение имеют сбор и анализ данных, получаемых от пользователей и специалистов различных областей деятельности. Одним из наиболее распространённых способов получения такой информации является проведение опросов и анкетирования.

С помощью проведения опросов можно получить мнения пользователей о различных продуктах или услугах. Чтобы автоматизировать этапы сбора, хранения и анализа данных, используются информационные системы, которые могут обеспечивать удобный процесс создания опросов, хранение результатов и автоматическую обработку полученных оценок.

Экспертные опросы, основанные на мнении специалистов в определённой области, являются одним из наиболее распространённых методов получения информации. Основной целью проведения экспертных опросов является получение профессиональной оценки исследуемого объекта или явления.

Экспертные опросы широко применяются в различных областях, таких как информационные технологии, экономика, управление, маркетинг и социологические исследования [1], [2]. В сфере разработки и использования программного обеспечения экспертные оценки применяются для анализа качества программных продуктов, оценки удобства пользовательского интерфейса, а также возможных недостатков, выявленных во время использования.

Существует несколько основных методов проведения экспертных опросов:

1. Анкетирование. Экспертам предлагается заполнить анкету, содержащую вопросы и шкалы оценивания. Оценки могут выставляться по числовой шкале, например от 1 до 5 или от 1 до 10.

2. Метод фокус-групп. Этот метод характерен для ситуаций, в которых происходит групповое обсуждение определённой задачи или объекта исследования. Фокус-группа обычно состоит из небольшого количества участников (обычно от 6 до 12 человек).

Участники в процессе обсуждения высказывают своё мнение по заданной теме, дают свою оценку различным характеристикам объекта исследования и предлагают возможные решения отмеченных проблем. С помощью использования фокус-групп можно получить более глубокое понимание мнений пользователей и экспертов.

3. Для получения качественных оценок от специалистов, обладающих достаточными знаниями в исследуемой области, используется метод экспертных оценок [3]. Эксперты могут оценивать различные параметры объекта исследования: качество, функциональность, надёжность, удобство использования и т.д.

Оценки, полученные в результате исследования, могут быть обработаны с использованием различных математических методов. Они позволяют получить общую итоговую оценку исследуемого объекта.

Самыми распространёнными методами для анализа результатов опросов являются вычисление среднего арифметического значения и средневзвешенной оценки. С помощью этих методов можно получить итоговую количественную характеристику объекта исследования на основе выставленных участниками опроса или экспертами оценок.

Наиболее простым и используемым показателем является среднее арифметическое значение. Однако данный метод не учитывает различную значимость отдельных критериев.

Формула среднего арифметического имеет следующий вид:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где:

x_i – оценка, выставленная i -м участником опроса,
 n – общее количество оценок.

Вычисление средневзвешенной оценки применяется в тех случаях, когда разные критерии оценки имеют различную важность. В этом случае каждому критерию присваивается свой коэффициент (определённый вес), отражающий его значимость.

Формула средневзвешенной оценки имеет следующий вид:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^m w_i x_i}{\sum_{i=1}^m w_i}, \quad (2)$$

где:

x_i – оценка по i -му критерию,
 w_i – весовой коэффициент i -го критерия,
 m – количество критериев.

Весовые коэффициенты могут либо задавать сами эксперты, либо определяться на основе значимости отдельных характеристик объекта исследования.

Формула упрощается, если сумма весовых коэффициентов равна единице:

$$E = \sum_{i=1}^m w_i x_i, \quad (3)$$

Так как в процессе вычисления итогового результата учитывается значимость различных параметров, использование средневзвешенной оценки позволяет получить более точный результат исследования по сравнению с использованием простого среднего арифметического значения.

Для демонстрации применения метода экспертных оценок рассмотрим пример оценки качества программного продукта – информационной системы для организации опросов фокус-групп и экспертов.

При оценке качества программного обеспечения можно использовать характеристики качества, определённые в стандарте ГОСТ 28195-89 «Оценка качества программных средств. Общие положения» [4]. Этот стандарт определяет конкретную систему показателей качества программного обеспечения.

В рамках данного примера были определены следующие критерии оценки:

- функциональные возможности;
- надёжность;
- удобство применения;
- эффективность.

Однако следует отметить, что применение только этих характеристик при оценивании является слишком общим подходом. Поэтому, в случаях практического применения, необходимо определять данные характеристики с учётом требований и особенностей технического задания и вместо общих критериев применять более конкретные оценочные факторы для более точной оценки исследуемого программного продукта.

Также была сформирована группа из трёх экспертов, которые оценивали систему по шкале от 1 до 10 (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты экспертной оценки

Критерий	Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3
Функциональные возможности	9	8	9
Надёжность	8	7	8
Удобство применения	9	8	8
Эффективность	8	7	8

1. Расчёт среднего арифметического.

Среднее арифметическое рассчитывается по формуле (1).

Функциональные возможности:

$$(9 + 8 + 9) \div 3 \approx 8.67$$

Надёжность:

$$(8 + 7 + 8) \div 3 \approx 7.67$$

Удобство применения:

$$(9 + 8 + 8) \div 3 \approx 8.33$$

Эффективность:

$$(8 + 7 + 8) \div 3 \approx 7.67$$

Общая средняя оценка качества системы:

$$X_{oc} = (8.67 + 7.67 + 8.33 + 7.67) \div 4$$

$$X_{oc} = 8.085 \approx 8.09$$

2. Расчёт средневзвешенной оценки.

Веса критериев заданы в таблице 2.

Таблица 2 – Веса критериев

Критерий	Вес
Функциональные возможности	0.35
Надёжность	0.30
Удобство применения	0.20
Эффективность	0.15

Средневзвешенная оценка рассчитывается по формуле (3).

Функциональные возможности:

$$0.35 \times 8.67 \approx 3.03$$

Надёжность:

$$0.30 \times 7.67 \approx 2.30$$

Удобство применения:

$$0.20 \times 8.33 \approx 1.67$$

Эффективность:

$$0.15 \times 7.67 \approx 1.15$$

Итоговая оценка:

$$X_{cb} = 3.03 + 2.30 + 1.67 + 1.15$$

$$X_{cb} = 8.15$$

В результате применения метода среднего арифметического была получена итоговая оценка 8.09.

При использовании метода средневзвешенной оценки итоговое значение составило 8.15.

Различие между результатами объясняется тем, что метод среднего арифметического предполагает равную значимость всех критериев, тогда как средневзвешенный метод учитывает важность отдельных характеристик качества программного продукта.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что средневзвешенная оценка является более точным методом оценки качества программного обеспечения, так как она позволяет учитывать определённые требования технического задания и приоритетность отдельных характеристик системы.

Литература

- [1]. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. – М.: Логос, 2000. – 296 с.
- [2]. Карелова О.Л. Методы поддержки принятия решений : учебное пособие. – М.: Проспект, 2020. – 144 с.
- [3]. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Экспертные оценки. – М.: Наука, 1973. – 160 с.
- [4]. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=9&documentId=219577> (дата обращения: 10.03.2026).

ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Современный этап развития информационных технологий характеризуется многообразием инструментов создания веб-приложений: от визуальных конструкторов до узкоспециализированных языковых фреймворков [1]. Поскольку для предприятий и разработчиков выбор конкретной платформы является критическим решением, влияющим на стоимость, сроки и возможность масштабирования продукта [2], то представляется целесообразным проведение соответствующего теоретического анализа с использованием имеющихся экспериментальных данных. Цель данной статьи состоит в систематизации существующих классов платформ и разработке математического подхода к обоснованному выбору инструментария в зависимости от приоритетов проекта, таких как производительность, скорость разработки и стоимость владения. Актуальность исследования подтверждается растущим спросом на цифровые продукты в различных отраслях экономики, где от правильного выбора технологического стека зависит успех реализации проекта и его дальнейшее сопровождение.

На основе анализа открытых источников и рыночных данных 2024–2026 годов выделены основные категории платформ, различающиеся по уровню абстракции и требуемой квалификации разработчика. К первой категории относятся платформы без программирования (визуальные конструкторы), такие как Bubble, Webflow и Tilda. Они обеспечивают максимальную скорость разработки, исчисляемую неделями, при минимальных требованиях к кодированию, однако ограничивают возможности кастомизации и производительность под высокой нагрузкой [3]. Вторую категорию составляют платформы с низким уровнем кодирования, включающие российские решения (Сакура PRO, Falcon Space, Knowledge Space) и международные (Mendix, OutSystems, Retool). Данные платформы позволяют создавать приложения с частичным программированием, балансируя между скоростью разработки и гибкостью [3]. Третья категория представлена профессиональными фреймворками и системами управления контентом (CMS), среди которых Laravel/PHP, Django/Python, Express.js/Node.js и 1С-Битрикс. Они требуют высокой квалификации разработчика, но предоставляют полный контроль над архитектурой и обеспечивают максимальную производительность [1]. Отдельно следует выделить тренд 2025–2026 годов – появление AI-платформ (Bolt, Lovable), генерирующих код по текстовому описанию, что существенно снижает порог входа в профессиональную разработку.

Важно отметить, что выбор платформы зависит не только от технических характеристик, но и от контекста использования: для стартапов критически важна скорость вывода продукта на рынок, для крупных корпораций –

безопасность и соответствие нормативным требованиям, для образовательных проектов – доступность и простота освоения. В российских условиях дополнительным фактором выступает необходимость импортозамещения и работы в рамках законодательства о персональных данных, что делает особенно актуальными отечественные low-code платформы и CMS, такие как 1С-Битрикс и Falcon Space [2]. Кроме того, при выборе платформы следует учитывать наличие сообщества разработчиков, качество документации и доступность специалистов на рынке труда, что напрямую влияет на долгосрочную поддержку проекта.

Для формализации процесса выбора платформы предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ), разработанный Т. Саати [4]. Данный метод позволяет свести сложную задачу выбора к попарным сравнениям критериев и альтернатив. На верхнем уровне иерархии находится цель – выбор оптимальной платформы для веб-приложения X. Второй уровень составляют критерии оценки: K1 – стоимость разработки и владения (лицензии, инфраструктура); K2 – скорость вывода на рынок; K3 – максимальная производительность и масштабируемость; K4 – гибкость и возможности кастомизации; K5 – наличие необходимых интеграций и безопасность, что особенно важно для российских условий с учетом требований к локализации данных [2]. Третий уровень иерархии образуют альтернативы – рассматриваемые платформы, например, A1 (Bubble), A2 (Falcon Space), A3 (Laravel) и A4 (1С-Битрикс).

Математическая формализация метода заключается в следующем. Для каждой цели строится матрица попарных сравнений критериев $C=(c_{ij})$ размером $n \times n$ (где $n = 5$), элемент которой c_{ij} показывает превосходство i -го критерия над j -м по шкале относительной важности от 1 до 9. Затем вычисляется вектор приоритетов критериев $w=(w_1, w_2, \dots, w_n)$ как собственный вектор матрицы C , соответствующий максимальному собственному значению $\lambda_{\max}$. Компоненты вектора w нормированы таким образом, что их сумма равна единице. Аналогичные матрицы и векторы приоритетов $v(i)=(v_1^{(i)}, \dots, v_m^{(i)})$ строятся для каждой альтернативы по каждому критерию K_i , где m – число альтернатив. Итоговый глобальный приоритет для альтернативы A_j вычисляется как взвешенная сумма:

$$P(A_j) = \sum_{i=1}^n w_i * v_j^{(i)}$$

Оптимальной признается альтернатива с максимальным значением $P(A_j)$ [4].

Апробация предложенной модели проводилась для двух гипотетических, но типичных задач [3]. Первая задача – создание внутреннего инструмента аналитики, где приоритетными являлись низкая стоимость (K1) и скорость вывода на рынок (K2), в то время как масштабируемость (K3) имела меньшее значение. Вектор приоритетов w имел максимальные значения для K1 и K2, и в

результате расчета отдано предпочтение платформе с низким уровнем кодирования Retool (Таблица 1).

Таблица 1 – Расчет приоритетов для внутреннего инструмента аналитики

Альтернатива	K1 (0,35)	K2 (0,30)	K3 (0,10)	K4 (0,15)	K5 (0,10)	P(A _j)
A1 (Retool)	0,60	0,55	0,10	0,15	0,15	0,435
A2 (Bubble)	0,30	0,35	0,30	0,35	0,40	0,335
A3 (Laravel)	0,10	0,10	0,60	0,50	0,45	0,230

Вторая задача – разработка корпоративного портала с высокой нагрузкой, где ключевыми приоритетами выступили производительность (K3), безопасность и возможность настройки под требования (K4, K5). По результатам выбрана разработка на профессиональном фреймворке Laravel (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет приоритетов для корпоративного портала с высокой нагрузкой

Альтернатива	K1 (0,35)	K2 (0,30)	K3 (0,10)	K4 (0,15)	K5 (0,10)	P(A _j)
A1 (1C-Битрикс)	0,20	0,25	0,25	0,20	0,40	0,260
A2 (Laravel)	0,45	0,40	0,35	0,50	0,30	0,390
A3 (Django)	0,35	0,35	0,40	0,30	0,30	0,350

Результаты расчетов подтвердили состоятельность метода: выбор, полученный математически, совпал с экспертной оценкой разработчиков, участвовавших в эксперименте [4]. При этом модель позволила количественно, в виде численных значений $P(A_j)$, оценить разрыв между альтернативами, что делает процесс выбора более прозрачным и обоснованным.

Практическая значимость разработанной методологии заключается в возможности ее применения не только для выбора платформ разработки, но и для решения широкого круга задач технико-экономического обоснования в сфере информационных технологий. Метод может быть адаптирован для сравнения архитектурных решений, выбора поставщиков облачных услуг, оценки целесообразности перехода на новые технологии. Автоматизация расчетов в виде специализированного веб-сервиса делает инструмент доступным для широкого круга пользователей, включая проектных менеджеров, технических директоров и стартап-команды.

Таким образом, для формализации процесса выбора платформы разработки веб-приложений предлагается апробированная математическая модель выбора на основе метода анализа иерархий, позволяющая формализовать и объективизировать процесс принятия решений при старте цифровых проектов в промышленности и социальной сфере. Проведенная апробация модели на двух

типовых задачах различной приоритетности показала ее работоспособность: в первом случае предпочтение отдано Retool за счет приоритета стоимости и скорости разработки, во втором случае – Laravel, из-за высокой производительности и гибкости. Эти примеры подтверждают, что предложенный подход позволяет количественно обосновать выбор платформы в зависимости от конкретных условий проекта. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение набора критериев, включение экономических показателей эффективности инвестиций и автоматизацию расчетов в виде веб-сервиса поддержки принятия решений.

Дополнительным направлением может стать интеграция с системами искусственного интеллекта для автоматического формирования матриц сравнения на основе анализа требований к проекту, что позволит еще больше снизить субъективность и повысить точность рекомендаций.

Литература

- [1]. Мартин, Р. Чистая архитектура. Искусство разработки программного обеспечения / Р. Мартин ; пер. с англ. Киселев А. – СПб.: Питер, 2022. – 352 с. – ISBN 978-5-4461-0772-8
- [2]. Рейтинг low-code платформ 2025 // CNews Analytics. – 2025. – URL: <https://www.cnews.ru/reviews> (дата обращения: 05.03.2026).
- [3]. Официальная документация Bubble [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bubble.io/docs> (дата обращения: 05.03.2026).
- [4]. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий / Т. Саати ; пер. с англ. Р. Г. Вачнадзе. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с. – ISBN 5-256-00443-3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ОРГАНИЗАЦИИ

В статье рассматриваются проблемы совершенствования локальной вычислительной сети (ЛВС) предприятий в условиях увеличения объемов обрабатываемых данных и решаемых задач.

Автором предлагается и дается описание новой обновленной структуры ЛВС ЦОД, обеспечивающей выполнение требований по отказоустойчивости и пропускной способности. Отдельно раскрыты проблемы информационного обмена, дублированием информации и увеличения времени поиска необходимых данных и документов в сети. Отдельно особое внимание в процессе проектирования новой ЛВС уделяется вопросам информационной безопасности и разработки клиентского приложения в среде Delphi. Результаты исследования направлены на создание архитектуры ЛВС предприятия, обеспечивающей повышение эффективности использования их сетевых ресурсов и оптимизацию информационных потоков внутри организации.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система, архитектура, вычислительный ресурс, коммутатор, локальная вычислительная сеть, сервер, совершенствование, топология.

В условиях цифровой трансформации предприятий особую роль играет эффективная организация информационной инфраструктуры. Локальные вычислительные сети обеспечивают быстрый обмен информацией между сотрудниками и подразделениями фирмы. Развитие корпоративных информационных систем напрямую связано с совершенствованием локальных сетевых решений. Несмотря на наличие современной сетевой инфраструктуры предприятий, текущая архитектурная схема их ЛВС характеризуется недостатками в организации информационного обмена, дублированием информации и увеличением времени поиска необходимых данных и документов в сети, что в свою очередь обуславливает необходимость их модернизации.

Анализ существующей и предлагаемой архитектур ЛВС предприятия.

Объектом исследования выступает локальная сеть производственного предприятия, в которой применяются серверные ресурсы, рабочие станции пользователей и сетевое оборудование различного уровня. Современные корпоративные сети строятся на основе клиент-серверной архитектуры [3]. Данная архитектура обеспечивает централизованное управление информацией, позволяет использовать серверы для хранения данных и обработки запросов пользователей. Рабочие станции сотрудников выступают в роли клиентов, которые получают доступ к данным через сетевую инфраструктуру предприятия. Подобный подход позволяет повысить надежность системы и обеспечить масштабируемость сети организации.

Анализ существующей сети показал, что в организации используется древовидная топология [4], Центральным элементом инфраструктуры является серверный узел, который включает основной сервер базы данных, резервный сервер и сетевое оборудование компании. Через центральный коммутатор осуществляется подключение распределительных коммутаторов, к которым, в свою очередь, подключены рабочие станции сотрудников. Такая структура обеспечивает удобство администрирования и позволяет масштабировать сеть при необходимости [3,4].

Несмотря на наличие современной инфраструктуры, в ходе анализа выявлены недостатки в организации информационного обмена.

Основная часть документов обрабатывается вручную или хранится в виде отдельных файлов, что усложняет совместную работу сотрудников.

Отсутствие централизованной системы управления данными неизбежно приводит к дублированию информации и значительному увеличению затрат времени на поиск необходимых документов, что значит - текущая архитектура не сможет гарантировать необходимый уровень качества обслуживания.

Структурная схема сети организации представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема сети предприятия

Для решения указанных проблем предлагается внедрение системы электронного документооборота и централизованной базы данных предприятия. Данная система позволит автоматизировать обработку документов, обеспечить быстрый доступ к информации и повысить прозрачность бизнес-процессов организации. Использование базы данных позволит структурировать

информацию и обеспечить надежное хранение данных [1]. Основной же задачей является повышение эффективности использования сетевых ресурсов и оптимизация информационных потоков организации.

Также важным этапом модернизации сети является оптимизация сетевой архитектуры. Предлагается выделить отдельный серверный сегмент сети, а также использовать маршрутизатор и межсетевой экран для обеспечения безопасного взаимодействия с внешними сетями. Такое решение позволит повысить уровень защиты корпоративной информации и снизить вероятность несанкционированного доступа.

Схема предлагаемой структуры сети организации, обеспечивающая необходимый уровень эффективности после модернизации, представлена на рисунке 2.

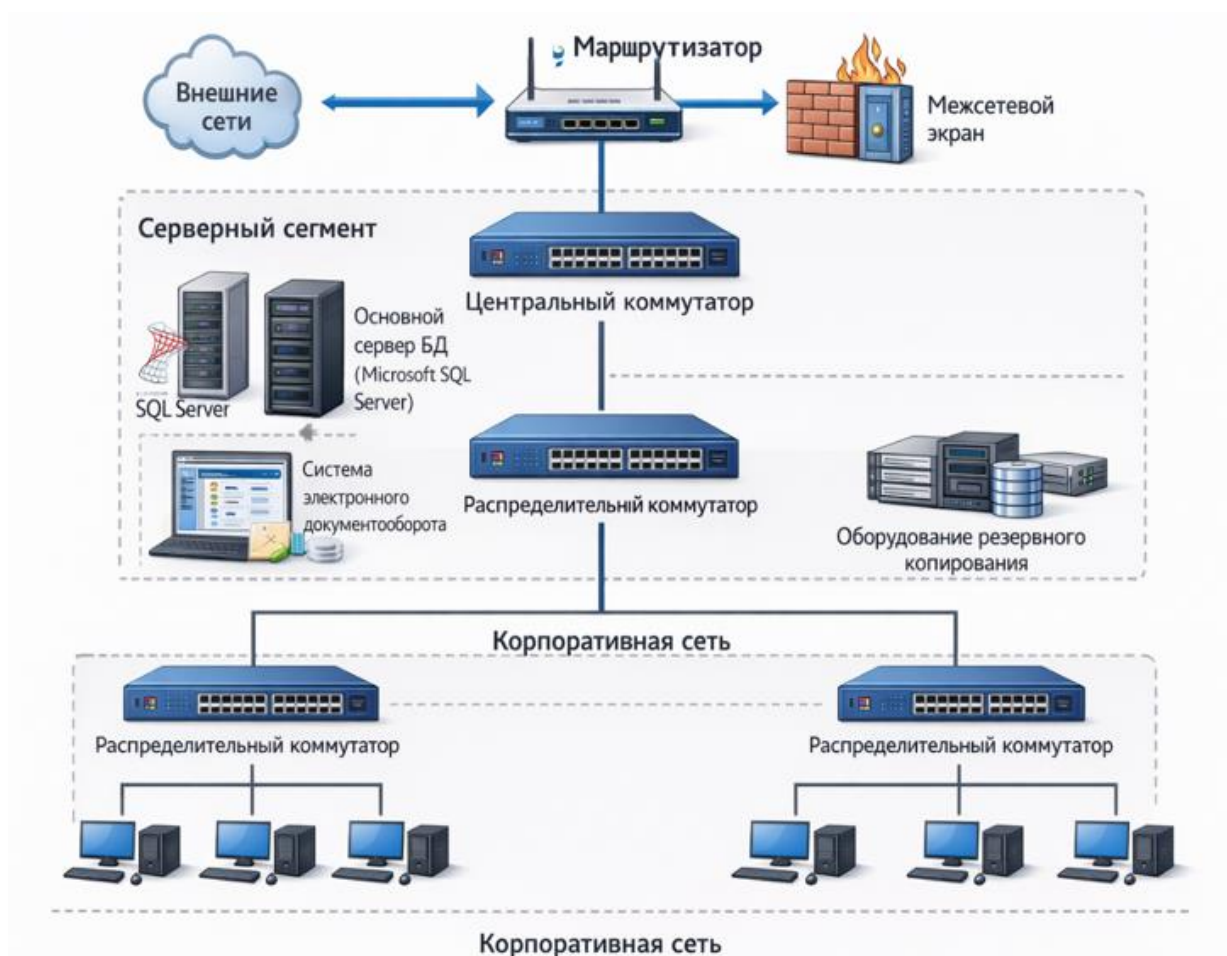


Рисунок 2 – Схема модернизированной структуры сети предприятия

Список элементов, входящих в модернизированную вычислительную сеть предложен в таблице 1.

Таблица 1 – Основные элементы модернизированной ЛВС предприятия

Оборудование	Функция	Количество
Сервер базы данных	Хранение корпоративной информации	1
Резервный сервер	Резервное копирование и восстановление данных	1
Маршрутизатор	Подключение сети предприятия к Интернету	1
Межсетевой экран	Защита сети от внешних угроз	1
Коммутаторы доступа	Подключение рабочих станций пользователей	2
Рабочие станции	Работа сотрудников с информационной системой	75

В качестве серверной платформы решено использовать систему управления базами данных Microsoft SQL Server, которая обеспечивает высокую производительность, надежность и масштабируемость. Для разработки клиентского приложения может быть применена среда Delphi, позволяющая создавать удобные интерфейсы и реализовывать взаимодействие с сервером базы данных в рамках локальной сети предприятия.

Особое внимание в процессе разработки информационной системы уделяется вопросам информационной безопасности. Необходимо обеспечить разграничение прав доступа пользователей к данным, защиту сетевого взаимодействия и резервное копирование информации для возможности ее восстановления [2]. Также использование резервного сервера и системы резервного копирования позволяет предотвратить потерю данных при возникновении технических сбоев.

Реализация предложенных мероприятий позволит значительно повысить эффективность функционирования локальной вычислительной сети предприятия. Важно отметить, что автоматизация документооборота сократит время обработки информации, централизованное хранение данных повысит надежность информационной системы, а модернизация сетевой архитектуры обеспечит высокий уровень безопасности корпоративных данных.

Заключение.

Таким образом, совершенствование локальной вычислительной сети организации является важным направлением развития информационной инфраструктуры. Реализация предложенных решений позволит повысить ее скорость функционирования, производительность труда сотрудников, улучшить управление информационными ресурсами и создать условия для дальнейшего развития цифровых технологий в организации.

Литература

- [1]. Вейцман В. М. Проектирование информационных систем : учебное пособие для вузов. СПб : Лань, 2022.
 [2]. Николаенко В.Г. Угрозы информационной безопасности в системах поддержки принятия решений // Достижения науки и образования. 2016.

[3]. Таненбаум Э. Компьютерные сети. 5-е изд. СПб : Питер, 2016.

[4]. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. М.: Питер.

*К.В. Матющенко, студ.; рук. И.А. Денисова, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР

В настоящее время разработка компьютерных игр является одной из активно развивающихся областей информационных технологий. Современные игровые проекты требуют реализации сложных программных систем, включающих обработку графики, моделирование физики, управление игровыми объектами и взаимодействие пользователя с виртуальной средой.

Для упрощения процесса разработки используются специализированные программные платформы, называемые игровыми движками. Игровой движок представляет собой программную среду, предоставляющую разработчику набор инструментов и библиотек для создания игровых приложений. Основными задачами игрового движка являются обработка графики, моделирование физических процессов, управление объектами сцены и обеспечение взаимодействия пользователя с программой [1].

Использование игровых движков позволяет значительно сократить время разработки, поскольку разработчику не требуется реализовывать базовые технологические компоненты с нуля. Вместо этого предоставляется готовая инфраструктура для создания игровых проектов различной сложности.

В настоящее время существует множество игровых движков, отличающихся функциональными возможностями, производительностью и расширяемостью. Среди наиболее распространённых можно выделить Unity, Unreal Engine, Godot и GameMaker.

Цель данной работы заключается в сравнительном анализе современных игровых движков, применяемых при разработке компьютерных игр. Для её достижения необходимо решить следующие задачи: изучить особенности популярных средств разработки, определить критерии для их сравнения и провести сопоставительную оценку выбранных платформ.

Рассмотрим наиболее известные игровые движки.

1. Unity является одним из самых востребованных движков для создания компьютерных игр. Он одинаково хорошо подходит как для 2D-, так и для 3D-проектов и предлагает разработчикам богатый набор инструментов [2].

Его архитектура базируется на компонентно-ориентированном подходе, где игровые объекты представляют собой контейнеры для компонентов, определяющих логику и свойства. Ключевыми особенностями Unity являются: кроссплатформенная компиляция (поддержка большого количества платформ, включая мобильные устройства, персональные компьютеры и консоли), использование языка C# для написания скриптов, а также наличие обширного

официального магазина Asset Store, предоставляющего готовые ресурсы и расширения.

2. Unreal Engine, разработанный компанией Epic Games, позиционируется как мощное средство для создания проектов с высокими требованиями к графике. Программирование ведётся на C++, а для визуального проектирования логики предусмотрена система Blueprint, позволяющая обходиться без написания кода [3].

В архитектуре Unreal Engine реализованы современные механизмы рендеринга, продвинутая система освещения, а также модули, отвечающие за физическое взаимодействие, анимацию и эффекты частиц. Наличие данных компонентов делает этот движок предпочтительным инструментом при разработке крупных игровых проектов, предъявляющих высокие требования к качеству визуального оформления.

3. Godot относится к категории игровых движков с открытым исходным кодом. Его архитектура базируется на концепции сцен и узлов, определяющей способ организации игровых объектов и взаимодействий между ними [4].

В качестве языков программирования движок поддерживает GDScript, C# и C++, что позволяет разработчику выбирать инструментарий в зависимости от требований проекта и предпочтений в области реализации логики. Среда разработки предоставляет инструменты для создания 2D-проектов и поддерживает разработку 3D-игр.

4. GameMaker представляет собой среду разработки, ориентированную на создание двумерных игр. Данный инструмент отличается простой архитектурой и удобным интерфейсом. В GameMaker используется собственный язык программирования GML (GameMaker Language), позволяющий реализовывать различные игровые механики [5].

Благодаря простоте использования GameMaker широко применяется при разработке независимых игровых проектов и учебных приложений.

Рассмотренные выше программные средства представляют собой наиболее распространенные решения, используемые при разработке компьютерных игр. Каждое из них обладает определенным набором функциональных возможностей, определяющих область их применения.

Для определения оптимального инструмента в зависимости от типа разрабатываемого проекта проведен их сравнительный анализ, в качестве критериев которого были выбраны следующие параметры: поддержка 2D-графики, поддержка 3D-графики, языки программирования, порог входа, сообщество и документация, производительность, поддержка расширений и стоимость (Таблица 1).

Проведённый сравнительный анализ позволяет заключить, что современный рынок игровых движков представлен широким спектром инструментов, каждый из которых ориентирован на определённые типы проектов и категории задач.

Таблица 1 – Сравнительный анализ игровых движков

Критерий	Unity	Unreal Engine	Godot	GameMaker
Поддержка 2D	Высокий уровень поддержки	Ограниченная, движок ориентирован преимущественно на 3D	Высокий уровень поддержки	Специализация на 2D, максимально проработанный функционал
Поддержка 3D	Полноценная поддержка 3D	Полноценная поддержка 3D	Базовая поддержка, ограниченный функционал	Поддержка 3D минимальная, преимущественно для простых объектов
Языки программирования	C#	C++, Blueprints	GDScript, C#, C++	GML, визуальное программирование
Порог входа	Средний	Высокий	Низкий	Низкий
Сообщество и документация	Крупное сообщество, официальные форумы, документация и учебные материалы	Крупное сообщество, официальная документация, форумы и обучающие ресурсы	Среднее сообщество, официальная документация и учебные материалы	Небольшое сообщество, базовая документация и руководства
Производительность	Достаточная для большинства проектов	Высокая, эффективна для ресурсоёмких 3D-проектов	Подходит для 2D и умеренных 3D-проектов	Ограничена для 3D, оптимальна для 2D
Поддержка расширений	Плагины и библиотеки C# через Unity Asset Store	Плагины и модули на C++ через Unreal Marketplace	Скрипты и плагины, предоставляемые сообществом	Расширения через GML и встроенные средства
Стоимость	Бесплатно, подписка при доходе более 100 тыс. долларов	Бесплатно, роялти 5 % при доходе более 1 млн. долларов	Бесплатно	Бесплатная версия с ограничениями, платные лицензии

Unity сегодня удерживает статус наиболее гибкого и востребованного игрового движка. Его универсальность позволяет одинаково эффективно работать как над простыми мобильными приложениями, так и над сложными кроссплатформенными проектами. Unreal Engine, оснащённый высокопроизводительным графическим ядром, преимущественно применяется в высокобюджетных проектах, где требования к фотореализму являются определяющими. Godot, распространяемый на условиях открытого исходного кода и не предполагающий лицензионных отчислений, привлекателен для независимых разработчиков, заинтересованных в технологической самостоятельности. GameMaker, специализирующийся на двумерной графике,

позволяет сократить сроки разработки при создании игровых проектов несложной структуры.

С учётом изложенного выбор игрового движка представляет собой комплексную задачу, решение которой должно опираться на анализ планируемого бюджета, целевых платформ и уровня технической подготовки команды.

Литература

- [1]. Грегори Дж. Игровой движок. Программирование и внутреннее устройство / Дж. Грегори; пер. с англ. О. Сивченко, С. Черникова. – СПб.: Питер, 2021. – 1136 с. – ISBN 978-5-4461-1134-3.
- [2]. Официальная документация Unity // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unity3d.com>.
- [3]. Официальная документация Unreal Engine // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.unrealengine.com> (дата обращения: 13.03.2026).
- [4]. Официальная документация Godot Engine // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.godotengine.org> (дата обращения: 13.03.2026).
- [5]. Официальная документация GameMaker // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://manual.gamemaker.io/lts/ru/Content.htm> (дата обращения: 13.03.2026).

*Е.Д. Меньшиков, студ.; рук. А.Ю. Пучков, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ВЛИЯНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ СТАНДАРТОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Распространение облачных технологий существенно изменило условия создания и сопровождения программного обеспечения. Применение моделей IaaS (Infrastructure as a Service), PaaS (Platform as a Service), SaaS (Software as a Service) привело к переносу вычислительных ресурсов, платформенных компонентов и прикладных сервисов во внешнюю управляемую среду [2]. В результате изменились не только технические средства функционирования информационных систем, но и порядок применения стандартов, регулирующих жизненный цикл программных средств, управление конфигурациями, обеспечение безопасности и подтверждение соответствия установленным требованиям.

Актуальность темы обусловлена тем, что действующие стандарты сохраняют нормативное значение, однако условия их применения в облачной среде существенно отличаются от условий размещения систем на собственных вычислительных ресурсах организации. В традиционной модели подтверждение соответствия в значительной степени опирается на документацию, настройки среды и периодические проверки. В облачной среде существенная часть контролируемых параметров представлена в виде конфигураций сервисов, шаблонов развертывания, правил доступа, сценариев автоматизации и журналов аудита. По этой причине меняются объект проверки, режим ее проведения и распределение ответственности между организацией и провайдером облачных услуг.

Цель исследования состояла в выявлении того, как облачные технологии изменяют применение стандартов создания программного обеспечения, включая объект контроля, периодичность проверки, состав подтверждающих артефактов и распределение ответственности между участниками облачной среды.

Проблема заключается в том, что переход к облачной модели разработки программного обеспечения не отменяет требований стандартов, но требует иной формы их практического применения. Нормативные положения, сформулированные для общего случая, должны использоваться в среде, где изменения происходят непрерывно, а многие операции выполняются автоматически. При таких условиях прежние способы подтверждения соответствия оказываются недостаточными, поскольку не обеспечивают своевременную проверку конфигураций, описаний среды выполнения, правил доступа и механизмов развертывания.

Стандарты ISO/IEC 12207 и ISO/IEC 27001 сохраняют применимость и в облачной среде, однако характер их использования изменяется. Если ранее основное внимание уделялось документированию процессов, разграничению ролей и итоговым проверкам, то при использовании облачных платформ возрастает значение технических артефактов, которые могут изменяться одновременно с прикладным кодом. Вследствие этого положения стандартов должны соотноситься не только с организационными регламентами, но и с параметрами среды, конфигурациями сервисов, политиками доступа, журналами событий и средствами автоматизированного контроля [3, 5].

Влияние облачных технологий на эволюцию стандартов проявляется прежде всего в изменении объекта контроля. Наряду с проектной и эксплуатационной документацией проверке подлежат исходный код, шаблоны описания среды, сценарии развертывания, параметры сетевого взаимодействия, политики идентификации и разграничения прав, журналы аудита, правила резервного копирования и настройки облачных сервисов. В традиционной модели значительная часть таких параметров задавалась вручную и могла фиксироваться в документации. В облачной среде они существуют в машиночитаемой форме и изменяются вместе с системой, поэтому должны рассматриваться как самостоятельные объекты контроля.

Второе направление изменений связано с режимом применения стандартов. Для систем, функционирующих в облачной среде, недостаточно периодических проверок, выполняемых после завершения очередного этапа работ. Более существенное значение получает непрерывный контроль, встроенный в технологический процесс. Проверка требований должна выполняться при фиксации изменений, сборке, тестировании, развертывании и последующем сопровождении. Такой режим соответствует высокой скорости изменения облачных конфигураций и позволяет выявлять нарушения до ввода новых параметров и компонентов в эксплуатацию.

Третье направление обусловлено перераспределением ответственности между участниками облачной среды. Часть функций по обеспечению доступности, отказоустойчивости, резервирования, базовой защиты

вычислительных ресурсов и ведения системных журналов реализуется провайдером. Организация, использующая облачные сервисы, сохраняет ответственность за прикладной код, корректность настроек, управление доступом, обработку данных и соблюдение внутренних регламентов. По этой причине применение стандартов в облачной среде требует явного разграничения зон ответственности, иначе часть требований может остаться без фактического исполнителя или без подтверждения их выполнения.

Существенные изменения происходят и в области управления конфигурациями. Для облачной среды характерно представление вычислительной среды в виде версионизируемых файлов и шаблонов. Принцип «инфраструктура как код» (Infrastructure as Code) позволяет описывать параметры среды, ресурсы, сетевые правила и сервисные зависимости в формализованном виде. Благодаря этому конфигурация становится объектом прослеживаемого изменения, сравнения и автоматической проверки. В контексте стандартов такой подход имеет важное значение, поскольку переводит часть требований из описательной формы в форму проверяемых условий.

Изменения затрагивают также процедуры подтверждения соответствия требованиям безопасности. При использовании облачных платформ существенную роль играют не только организационные меры, но и технические механизмы: централизованное управление доступом, журналирование действий, контроль привилегий, шифрование, сегментация сетевого взаимодействия, контроль секретов и проверка политик. Вследствие этого доказательная база соответствия формируется не только на основании отчетов и регламентов, но и на основании записей журналов, результатов автоматизированных проверок, конфигурационных файлов и сведений о выполненных операциях развертывания.

Отдельного внимания требует изменение состава артефактов, подтверждающих соблюдение требований стандарта. Для традиционной модели такими артефактами выступают документы, акты проверок, протоколы согласования и результаты ручного аудита. Для облачной среды перечень подтверждающих материалов расширяется за счет журналов событий, результатов статического анализа, отчетов автоматизированных тестов, версий шаблонов среды, записей о применении политик и сведений о блокировке операций, не прошедших проверку. Расширение состава артефактов отражает более тесную связь между нормативным требованием и техническим состоянием системы. Сопоставление характеристик контроля соответствия в традиционной и облачной моделях приведено в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Характеристики моделей разработки программного обеспечения

Характеристика	Традиционная модель	Облачная модель	Практическое следствие
Объект контроля	Документация, регламенты, среда	Исходный код, шаблоны описания среды, политики доступа, журналы аудита	Расширяется состав проверяемых артефактов

Продолжение работы 1 – Характеристики моделей разработки программного обеспечения

Периодичность проверки	Периодическая, по графику	Непрерывная, при изменении кода и среды	Сокращается интервал между изменением
Способ выполнения контроля	Экспертный анализ, чек-листы	Автоматизированные правила, статический анализ, проверка политик	Повышается воспроизводимость процедуры
Форма фиксации результата	Отчет по итогам проверки	Машиночитаемый результат, запись в журнале, блокировка операции	Обеспечивается оперативная реакция на нарушение
Распределение ответственности	В основном внутри организации	Между провайдером и организацией-пользователем	Требуется явное разграничение зон контроля
Трассируемость результатов	Ограниченная связь с конкретным состоянием	Привязка к версии кода, конфигурации и событию развертывания	Упрощаются аудит и анализ причин нарушений

С учетом указанных особенностей применение стандартов в облачной среде требует адаптации процедур контроля соответствия. В этом случае требования целесообразно представлять не только в текстовом виде, но и в виде набора проверяемых правил, связанных с конкретными артефактами жизненного цикла системы. Для каждого требования могут быть определены объект проверки, контролируемый параметр, допустимое состояние и этап выполнения проверки. Подобный подход не изменяет содержание самих стандартов, но уточняет порядок их практического применения в условиях облачной эксплуатации и делает подтверждение соответствия более воспроизводимым.

Данные таблицы 1 показывают, что влияние облачных технологий затрагивает не отдельные технические решения, а сам порядок применения стандартов. В облачной среде нормативное требование должно соотноситься с конкретным проверяемым артефактом, этапом контроля и способом фиксации результата. По этой причине развитие стандартов связано прежде всего с уточнением механизмов подтверждения соответствия, а не с пересмотром их базовых положений.

Проведенный анализ показал, что влияние облачных технологий на эволюцию стандартов создания программного обеспечения выражается в изменении состава контролируемых объектов, переходе к непрерывному режиму проверки, расширении доказательной базы соответствия и перераспределении ответственности между участниками облачной среды. При таких условиях стандарт перестает быть только набором общих нормативных положений и приобретает значение основы для формализованных процедур контроля, применяемых к конкретным техническим артефактам. Практическое значение выявленных изменений состоит в повышении прослеживаемости, воспроизводимости и своевременности подтверждения соответствия, что делает применение стандартов более адекватным условиям функционирования современных облачных систем.

- [1]. Hua, X., Zheng, L. Workflow scheduling in IaaS clouds with the optimal pairing between tasks and virtual machines. J. King Saud Univ. Comput. Inf. Sci. 37, 237 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44443-025-00260-7>.
- [2]. Mell, P., & Grance, T. The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, 2011.
- [3]. Пучков А. Ю., Соколов А. М., Широков С. С., Прокимнов Н. Н. Алгоритм выявления угроз информационной безопасности в распределенных мультисервисных сетях органов государственного управления // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 2. С. 85–102. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-18-2-85-102.
- [4]. Kanojia, S., Kaur, S. & Bhavya Business sustainability in the era of Fintech and Regtech: a systematic literature review. Discov Sustain 5, 525 (2024). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00767-5>.
- [5]. Prates, L., Pereira, R. DevSecOps practices and tools. Int. J. Inf. Secur. 24, 11 (2025). <https://doi.org/10.1007/s10207-024-00914-z>.

*И.А. Михальков, студ.; рук. В.А. Тихонов к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И ВЛАЖНОСТИ

В современном мире контроль параметров окружающей среды становится всё более важной задачей как в бытовой, так и в профессиональной сфере. Температура, давление и влажность воздуха влияют на самочувствие человека, условия хранения продуктов и материалов, работу оборудования и технологические процессы. Непрерывный мониторинг этих параметров позволяет своевременно реагировать на их изменения, предотвращая негативные последствия.

Проблеме создания систем контроля микроклимата посвящено значительное количество исследований и коммерческих разработок. Существующие решения варьируются от простых бытовых термометров и гигрометров до сложных профессиональных метеостанций. Однако многие из них обладают рядом недостатков: отсутствие возможности удалённого мониторинга, высокое энергопотребление, ограниченный функционал, высокая стоимость, либо привязка к конкретным экосистемам и производителям [1]. Особенно остро стоит проблема автономности: большинство устройств требуют постоянного подключения к электрической сети, что ограничивает их мобильность и возможность размещения в удалённых или неэлектрифицированных местах, таких как загородные дома, склады, теплицы, подвальные помещения.

В связи с вышеизложенным разработка автономного устройства для мониторинга параметров микроклимата, обладающего низким энергопотреблением и возможностью удалённого доступа к данным, является актуальным направлением.

Целью исследования является описание основных принципов проектирования устройства, ориентированного на устранение недостатков существующих аналогов. Результаты исследования могут быть использованы

для оценки технической осуществимости, целесообразности предложенного решения и определения потенциала для дальнейших разработок.

В основе предлагаемого устройства лежит концепция автономного измерительного прибора с интерактивным управлением и возможностью передачи данных в облачный сервис. Пользователь самостоятельно инициирует процесс измерения нажатием кнопки, после чего устройство пробуждается из режима глубокого сна, выполняет измерение температуры, давления и влажности, отображает результаты на встроенном дисплее и при наличии Wi-Fi-сети передаёт данные на облачную платформу ThingSpeak для последующего анализа и визуализации.

Основные функциональные требования к устройству мониторинга параметров микроклимата следующие:

Измерение температуры, давления и влажности воздуха, заключающееся в периодическом (по требованию пользователя) получении данных с использованием комбинированного цифрового датчика. Диапазон измеряемых температур должен составлять от -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$, давления – от 300 до 1100 гПа, влажности – от 0 до 100% с точностью, соответствующей характеристикам датчика BME280 [2].

Автономное энергоснабжение для обеспечения возможности размещения устройства в любом месте без привязки к электрической сети. Устройство должно функционировать от батарейного питания (4 элемента АА) и потреблять минимальный ток в режиме ожидания (единицы микроампер), что позволит достичь времени автономной работы не менее 6 месяцев.

Локальная индикация измеренных параметров на встроенном дисплее для непосредственного считывания информации пользователем. Дисплей должен обеспечивать чёткое отображение трёх параметров одновременно с указанием единиц измерения.

Информационный обмен с облачным сервером для организации удалённого доступа к данным. Устройство должно подключаться к Wi-Fi-сети и отправлять измеренные значения на платформу ThingSpeak с использованием HTTP-протокола.

Интерактивное управление с помощью кнопки запуска измерений, обеспечивающее пробуждение системы из режима глубокого сна только по требованию пользователя.

Наличие световой индикации для визуального отображения статуса работы устройства (процесс измерения, передача данных, ошибка).



Рисунок 1 – Структурная схема устройства

На основании обозначенных положений составлена структурная схема устройства мониторинга параметров микроклимата (рисунок 1). В основе устройства лежит использование микроконтроллера ATmega328P, который обладает оптимальным соотношением производительности, энергоэффективности и стоимости, а также имеет широкую распространённость и обширную документацию. Наличие различных режимов энергосбережения, включая Power-down mode с потреблением менее 1 мкА, позволяет создавать длительно работающие автономные устройства.

Для измерения температуры, давления и влажности выбран датчик BME280 производства Bosch Sensortec. Данный датчик является комбинированным, что позволяет измерять все три требуемых параметра с использованием одного компонента, минимизируя габариты устройства и упрощая схемотехнику. Основные характеристики датчика приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики датчика BME280

Параметр	Диапазон	Точность
Температура	-40...+85°C	±1,0°C
Давление	300...1100 гПа	±1 гПа
Влажность	0...100%	±3%

Датчик поддерживает интерфейсы I²C и SPI, при этом для упрощения схемы выбран I²C, позволяющий использовать всего две линии связи (SDA и SCL). Наличие встроенных калибровочных коэффициентов обеспечивает высокую точность измерений без необходимости дополнительной настройки.

Для локального отображения информации используется OLED-дисплей на базе контроллера SSD1306 с разрешением 128×64 пикселя. Данный тип дисплея обладает низким энергопотреблением (около 20 мА в рабочем режиме) и поддерживает интерфейс I²C, что позволяет подключить его к той же шине, что и датчик BME280 [3]. Разрешения 128×64 пикселя достаточно для одновременного вывода трёх параметров с указанием единиц измерения и статусной информации.

Передача данных на облачный сервер осуществляется с использованием Wi-Fi модуля ESP8266 в конфигурации ESP-01S. Данный модуль работает под управлением AT-команд, поступающих от микроконтроллера по интерфейсу UART. Для минимизации энергопотребления питание модуля полностью отключается в режиме сна с помощью транзисторного ключа, управляемого отдельным выводом микроконтроллера. При нажатии кнопки запуска измерений микроконтроллер подаёт питание на ESP8266, инициализирует подключение к Wi-Fi-сети и отправляет HTTP GET-запрос на сервер ThingSpeak с данными измерений. Такой подход позволяет снизить потребление тока в режиме ожидания до единиц микроампер.

Питание устройства осуществляется от четырёх элементов АА, обеспечивающих номинальное напряжение 6В. Для стабилизации напряжений используются два линейных стабилизатора: LM7805 для получения 5В (питание микроконтроллера) и AMS1117-3.3 для получения 3.3В (питание датчика, дисплея и Wi-Fi модуля). Применение двух отдельных стабилизаторов позволяет обеспечить необходимую мощность для ESP8266, который в момент передачи данных может потреблять до 200-300 мА.

Микроконтроллер ATmega328P поддерживает несколько режимов сна, при этом наиболее глубокий режим Power-down обеспечивает потребление менее 1 мкА. Выход из режима сна осуществляется по внешнему прерыванию от кнопки запуска измерений, подключённой к выводу INT0 (PD2). После завершения цикла измерения и передачи данных микроконтроллер вновь переводится в режим сна, предварительно отключив питание ESP8266 и выключив дисплей.

Предложенное устройство является автономным средством мониторинга параметров микроклимата, решающим задачи локального измерения и отображения данных с возможностью их передачи в облачный сервис для удалённого доступа и накопления статистики. Устройство может найти применение в загородных домах (контроль микроклимата в подвалах и кладовых), теплицах и оранжереях (поддержание оптимальных условий для растений), на складах и в архивах (контроль условий хранения), а также в жилых помещениях для обеспечения комфортного микроклимата.

Литература

- [1]. Иванов И.И. Современные системы мониторинга окружающей среды // Вестник технических наук. – 2022. – № 3. – С. 45-52.
- [2]. Петров П.П. Обзор рынка IoT-устройств для контроля микроклимата // Электронные компоненты и системы. – 2023. – № 8. – С. 23-29.

*П.А. Моликов, А.С. Цыганков, студ.; рук. А.А. Коротких, ст. препод.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СИНТЕЗ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ

Проблема формирования реалистичных и экономически эффективных календарных графиков остается одной из наиболее острых в управлении строительными проектами. Традиционные подходы, основанные либо на жестких нормативных схемах, либо на субъективном опыте проектировщика, часто приводят к созданию графиков, которые в процессе реализации требуют постоянных и существенных корректировок [1]. Это свидетельствует о наличии системного разрыва между теоретическими моделями планирования и реальной практикой, детерминированной множеством взаимосвязанных факторов. Данный разрыв обусловлен, в первую очередь, недостаточным учетом статистических закономерностей, объективно присущих строительному производству, но неочевидных при рассмотрении единичного проекта [5].

Таким образом, возникает необходимость в методологии, которая бы опиралась не на предписывающие нормы, а на дескриптивный анализ фактических данных о выполненных работах. Такой анализ позволяет перейти от заданных извне временных параметров к выявленным из практики зависимостям, что повышает адекватность и обоснованность планирования. Исследование сводится к разработке обобщенной математической модели синтеза календарного графика, ядром которой служат эмпирические зависимости, выведенные из статистики большого числа реализованных строительных проектов.

Оно построено на принципах индуктивного статистического моделирования [3]. Исходной точкой стал сбор и систематизация данных по 2470 строительным объектам, сданным в эксплуатацию в период с 2015 по 2025 год. Сознательно была сформирована разнородная выборка, включившая как массовые жилые дома (1850 объектов), так и промышленные здания (620 объектов) различной технологической природы: монолитные, панельные, каркасные и бескаркасные. Для каждого объекта фиксировался комплекс параметров, условно разделенных на три группы: описательные (строительный объем V , площадь застройки S , этажность), технологические (тип конструктивной системы, вид фундамента) и временно-ресурсные (фактические сроки этапов, пиковое количество рабочих и механизмов).

Ключевым этапом параметризации стала разработка интегрального показателя сложности объекта K_c . Этот коэффициент, варьирующийся от 1,0 для простых типовых решений до 2,5 для уникальных объектов, рассчитывается как

взвешенная сумма бинарных индикаторов наличия усложняющих элементов: заглубленной части, высотных фрагментов, сложных архитектурно-конструктивных узлов [4]. Введение K_c позволило перейти от абсолютных значений объемов к приведенному показателю $V \times K_c$, который, как показал последующий анализ, обладает высокой объясняющей способностью.

Первичный корреляционный анализ выявил ряд устойчивых связей. Наиболее сильная положительная корреляция ($r > 0.89$) наблюдалась между общей продолжительностью строительства T_{total} и произведением объема на коэффициент сложности. При этом характер зависимости не был линейным: рост приведенного объема сопровождался относительно меньшим ростом сроков, что указывало на эффект масштаба и оптимизации процессов на крупных объектах [5].

Далее был проведен регрессионный анализ для установления конкретного вида этих зависимостей внутри каждой технологической группы. Для группы монолитных жилых домов (G1) наилучшую аппроксимацию дала степенная функция вида $T_{total} = 45 + 2.8 \times (V \times K_c)^{0.67}$. Свободный член $\alpha_0 = 45$ интерпретируется как минимальный организационно-подготовительный период, не зависящий от объема. Показатель степени $\beta = 0.67 < 1$ подтверждает нелинейный характер, при котором увеличение объема в 2 раза приводит к увеличению срока лишь в $2^{0.67} \approx 1.6$ раза.

Анализ структуры продолжительности показал, что доля основных технологических этапов (нулевой цикл, надземная часть, отделка) относительно стабильна для объектов одной группы, но подвержена систематическому сдвигу под влиянием сложности. Например, для монолитных зданий базовое распределение составило 18%, 52% и 30% соответственно. Однако с ростом K_c доля нулевого цикла увеличивалась с наибольшей скоростью, что объясняется усложнением земляных работ и устройства фундаментов на сложных объектах. Эта закономерность была формализована в уравнении $T_i = T_{total} \times k_i \times (1 + \lambda_i \times (K_c - 1))$, где λ_i – коэффициент чувствительности этапа к сложности.

Изучение динамики выполнения работ позволило описать типичный профиль интенсивности (ежедневного объема выполняемых работ) сигмовидной кривой. Эта кривая характеризуется фазой постепенного наращивания мощностей, периодом устойчивой максимальной интенсивности и фазой плавного сворачивания деятельности. Такая модель, в отличие от равномерного распределения, точнее отражает реальные процессы мобилизации и демобилизации ресурсов на строительной площадке [1].

На основе выявленных закономерностей была синтезирована целостная математическая модель. Ее ядро представляет собой систему взаимосвязанных уравнений, последовательно определяющих:

Общую прогнозную продолжительность строительства на основе приведенного объема и технологического класса.

Распределение этой общей продолжительности по ключевым технологическим этапам с поправкой на сложность.

Ожидаемый профиль интенсивности работ во времени, что критически важно для планирования поставок материалов и загрузки механизмов.

Важным компонентом модели является вероятностный блок. Поскольку любая эмпирическая закономерность сопряжена с разбросом данных, модель оперирует не точечными оценками, а доверительными интервалами [3]. Дисперсия общей продолжительности рассчитывается как совокупная дисперсия ее составляющих. Это позволяет оценить не только наиболее вероятный срок, но и вероятность завершения работ к заданной директивной дате, что является ключевым для управления рисками [4].

Финальным элементом выступает оптимизационный контур. Модель позволяет оценить стоимостные последствия сжатия или растяжения сроков отдельных работ (анализ «время-стоимость»). С помощью методов математического программирования можно найти оптимальное с точки зрения минимизации совокупных затрат распределение дополнительных ресурсов для ускорения критического пути, оставаясь в рамках выявленных статистически обоснованных зависимостей [2].

Адекватность модели проверялась на контрольной выборке из 120 проектов, не участвовавших в ее построении. Средняя относительная ошибка прогноза общей продолжительности составила 6.8%, при этом для технологически однородных объектов массовой застройки она не превышала 5%. Коэффициент детерминации $R^2 = 0.93$ свидетельствует о том, что модель объясняет 93% вариации продолжительности строительства в выборке [3].

Практическая реализация модели была осуществлена в виде алгоритмического модуля, интегрированного в среду автоматизированного проектирования. Его внедрение показало, что время на разработку и согласование календарного графика сокращается в 1.5–2 раза. Более того, графики, сформированные на основе модели, демонстрировали значительно более высокую устойчивость в процессе строительства, требуя меньше корректировок [2]. Это прямое следствие того, что они изначально базировались не на идеализированных нормативах, а на усредненной практике успешно реализованных проектов, учитывающей объективные производственные ритмы и ограничения.

Проведенное исследование демонстрирует плодотворность применения методов статистического анализа больших данных к задаче календарного планирования в строительстве [2, 5]. Предложенная модель представляет собой инструмент для синтеза графиков, которые являются не результатом произвольного компромисса между директивным сроком и нормативными ограничениями, а следствием объективных, количественно измеренных закономерностей строительного производства.

Основной вывод заключается в том, что ключевые параметры календарного графика - общая продолжительность, структура этапов, интенсивность - не являются независимыми и произвольными. Они находятся в жесткой статистической связи с объемно-планировочными и технологическими характеристиками объекта [1]. Игнорирование этих связей, присущее

традиционным методам, и является причиной низкой реализуемости многих планов [5].

Разработанная модель открывает путь к созданию нового поколения систем поддержки принятия решений в управлении строительством [2]. Перспективными направлениями дальнейших исследований видятся обогащение модели данными о влиянии регионально-климатических факторов, интеграция с BIM-моделями для автоматического извлечения исходных параметров, а также использование методов машинного обучения для динамической адаптации прогнозов по мере поступления информации с конкретной строительной площадки.

Литература

- [1]. Горелик, А.Л. Моделирование процессов в организационно-технологических системах строительства / А.Л. Горелик, В.И. Теличенко. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 328 с.
- [2]. Клейн, С. Управление проектами на основе данных / С. Клейн // International Journal of Project Management. – 2021. – Vol. 39, No. 4. – P. 343-355.
- [3]. Осипова, Г.Н. Статистические методы анализа в строительстве / Г.Н. Осипова. – СПб.: Лань, 2020. – 256 с.
- [4]. Chan, D.W.M. Exploring the key risks and risk mitigation measures for management of prefabricated building projects / D.W.M. Chan, T.O. Olawumi // Engineering, Construction and Architectural Management. – 2020. – Vol. 27, No. 9. – P. 2665-2685.
- [5]. Flyvbjerg, B. What You Should Know About Megaprojects and Why: An Overview / B. Flyvbjerg // Project Management Journal. – 2014. – Vol. 45, No. 2. – P. 6-19.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АРХИТЕКТУРЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Построение архитектуры является одним из ключевых и наиболее важных этапов процесса проектирования информационной системы. Именно на этой стадии происходит определение фундаментальных принципов, на основании которых будет построена система – характеризуются структурные взаимосвязи между её компонентами, а также принимаются общие технические решения, которые впоследствии будут определять характеристики разрабатываемого продукта. Принятые архитектурные решения оказывают влияние на такие критически важные параметры будущей системы, как масштабируемость, производительность, надёжность и, безусловно, во многом определяют стоимость сопровождения и поддержки. Вопрос о выборе правильного подхода к построению архитектуры решается на ранних стадиях разработки, поэтому возможные ошибки и неточности зачастую требуют значительных затрат на устранение, а в отдельных случаях могут привести к необходимости полного пересмотра концепции решения. Из этого следует, что качество проработки архитектуры оказывает влияние не только на техническое качество продукта, но и на экономическую эффективность его разработки и поддержки.

В современных технологических и экономических условиях проблема выбора корректного архитектурного подхода приобретает особую остроту. Традиционные решения, ориентированные на стабильную и прогнозируемую работу, всё чаще демонстрируют низкую гибкость и масштабируемость. Именно поэтому разработчики в настоящее время обращают своё внимание на альтернативные подходы, связанные с построением микросервисов и использованием облачных технологий. Стоит отметить, что и новые подходы имеют свои ограничения, включающие в себя, например, инфраструктурную сложность, возрастающие требования к квалификации команд разработки, а также проблемы обеспечения согласованной работы распределённых компонентов. В связи с этим возникает необходимость в систематизации и сравнении современных подходов к построению архитектуры корпоративных информационных систем.

Выполненный анализ выявил наиболее актуальные и широко применяемые типы архитектур, к которым были отнесены монолитная, клиент-серверная, сервис-ориентированная, микросервисная и бессерверная архитектуры [1]. Монолитная архитектура представляет собой традиционный подход к построению информационных систем. Данная архитектура предусматривает, что все компоненты приложения (пользовательский интерфейс, бизнес-логика и логика управления данными) объединяются в единый исполняемый файл или набор тесно связанных между собой файлов. Система разрабатывается и развертывается как единое целое, все взаимодействия между модулями реализуются при помощи вызова тех или иных функций в рамках одного

процесса. Ключевыми достоинствами монолитной архитектуры являются простота разработки, удобство тестирования и отладки, а также легкость развертывания. Взаимодействие между отдельными компонентами системы является надёжным и предсказуемым. Сопровождение монолитных ИС не требует сложной инфраструктуры или специфических навыков разработчиков. Важно отметить, что по мере роста и усложнения системы всё более ощутимыми становятся недостатки данного подхода. Ключевым недостатком является полное отсутствие горизонтального масштабирования. При этом вертикальное масштабирование ограничивается наращиванием мощности сервера, что имеет естественные пределы и часто приводит к неэффективному использованию ресурсов. Очевидны также проблемы развертывания и обновления – внесение даже незначительных изменений требует полной замены всего приложения. Несмотря на перечисленные ограничения, монолитная архитектура всё ещё имеет широкое применение в определенных областях. Она оптимальна для небольших и средних проектов с ограниченным бюджетом и сжатыми сроками разработки. Монолитный подход также часто используется при создании прототипов и минимально жизнеспособных продуктов.

В основе клиент-серверной архитектуры информационных систем лежит принцип распределения вычислительной нагрузки между двумя автономными, но взаимодействующими частями: клиентской, отвечающей за представление данных и взаимодействие с пользователем, и серверной, обеспечивающей хранение данных и реализацию бизнес-логики. Взаимодействие между клиентской и серверной частью осуществляется посредством сетевых запросов по заранее определённым протоколам. Преимущества клиент-серверного подхода к построению архитектуры достаточно очевидны и во многом обусловлены предлагаемым принципом разделения функций. Благодаря централизованному управлению данными на отдельном сервере упрощается процесс обеспечения целостности информации и создания резервных копий. Масштабирование такой системы может осуществляться как за счёт увеличения мощности сервера, так и путём добавления новых серверов для обработки растущего потока запросов. При этом клиентская часть информационной системы не имеет высоких требований к вычислительным ресурсам. Основным узким местом данной архитектуры является сервер, поскольку при выходе его из строя работа всех клиентов полностью прекращается. С ростом числа одновременных пользователей сервер может испытывать перегрузки, которые оказывают негативное влияние на общую производительность ИС. Области применения клиент-серверной архитектуры чрезвычайно широки и охватывают практически все сферы, где требуется одновременный доступ множества пользователей к централизованно хранящимся данным.

Дальнейшим эволюционным развитием клиент-серверного подхода является сервис-ориентированная архитектура (SOA). В рамках данной архитектуры предлагается рассматривать корпоративную информационную систему как совокупность слабо связанных, автономно существующих сервисов, каждый из которых реализует определённую бизнес-функцию и может быть

вызван другими компонентами по стандартизированным правилам. Задачи маршрутизации сообщений возложены на специальную коммуникационную шину. Таким образом, применение этой архитектуры позволяет выстроить единое информационное пространство из уже существующих приложений, не требуя их полной переработки. В этом состоит одно из ключевых преимуществ SOA. Выход из строя отдельного сервиса не приводит к остановке всей системы, что повышает общую отказоустойчивость. Недостатками данной архитектуры являются значительное усложнение инфраструктуры, высокая сложность разработки, а также наличие критического компонента – коммуникационной шины, выход которой из строя приведёт к полному прекращению работы системы. Основной областью применения сервис-ориентированной архитектуры являются информационные системы крупных корпораций, прежде всего из финансового сектора, где за долгие годы накопился значительный набор унаследованных систем.

Микросервисная архитектура представляет собой дальнейшее развитие идей сервис-ориентированного подхода. Данная архитектура предполагает создание информационной системы как набора множества небольших, слабо связанных между собой сервисов, каждый из которых реализует строго ограниченную функцию и работает в собственном независимом процессе. При этом взаимодействие между микросервисами осуществляется без использования централизованной шины, с применением заданных сетевых протоколов (например, HTTP). Каждый микросервис может быть разработан с использованием собственного набора технологий, иметь собственную базу данных и независимый жизненный цикл разработки. Масштабирование системы, построенной на основе этой архитектуры, практически не имеет ограничений. Кроме того, обновление отдельных компонентов системы является полностью независимым. Несмотря на большое число приведённых преимуществ, микросервисный подход имеет существенный недостаток – значительное усложнение эксплуатационной инфраструктуры. Распределённая природа системы порождает проблемы, связанные с согласованием передачи данных между сервисами и контролем сетевых задержек. При этом значительно возрастают требования к квалификации команды разработчиков. Широкое распространение данная архитектура получила при построении ИС организаций, работающих на цифровых рынках с крайне высокой конкуренцией, которые имеют огромное число одновременных пользователей.

В настоящее время всё более широкое распространение приобретает бессерверная архитектура. В рамках этого подхода ИС декомпозируется не на модули или сервисы, а на отдельные функции, которые запускаются в облачной среде только в момент поступления соответствующего события. Облачный провайдер берёт на себя все задачи по обеспечению вычислительных мощностей, масштабированию и балансировке нагрузки. Главным достоинством данной архитектуры является потенциальная способность системы к автоматическому масштабированию в значительных пределах. Оплата использования облачных ресурсов взимается исключительно за фактическое время выполнения

программного кода, что является огромным преимуществом для систем с неравномерной нагрузкой. Главный недостаток бессерверной архитектуры состоит в серьезной привязке работоспособности ИС к технологиям конкретного облачного провайдера.

На основании составленных характеристик, было выполнено сравнение архитектур корпоративных информационных систем, представленное в таблице 1. В качестве критериев сравнения были выбраны возможность масштабирования, сложность разработки, отказоустойчивость, стоимость разработки и поддержки, подход к обновлению системы, требования к команде разработчиков, а также наиболее подходящие сферы применения.

Таблица 1 – Сравнение архитектур корпоративных ИС

Критерий	Монолитная архитектура	Клиент-серверная архитектура	Сервис-ориентированная архитектура	Микросервисная архитектура	Бессерверная архитектура
Возможность масштабирования	Вертикальное	Вертикальное	Горизонтальное + вертикальное	Горизонтальное + вертикальное	Автоматическое при росте нагрузки
Сложность разработки	Низкая	Средняя	Высокая	Высокая	Средняя
Отказоустойчивость	Низкая	Средняя	Средняя	Высокая	Высокая
Стоимость разработки и поддержки	Низкая на старте, затем растёт	Умеренная	Высокая	Высокая	Изменчивая
Подход к обновлению	Полное обновление всей системы	Отдельное обновление клиента и сервера	Независимое для каждого сервиса	Полностью независимое	Полностью независимое
Требования к команде	Небольшая универсальная команда	Разделение разработчиков клиентской и серверной части	Наличие специалистов по интеграции сервисов	Большое количество независимых команд	Знание технологий облачного провайдера
Сферы применения	Прототипы, малый бизнес	Веб-порталы, корпоративные ИС любого масштаба	Интеграция большого числа различных систем	Системы с высокой нагрузкой	Системы с неравномерной нагрузкой

Таким образом, можно сделать вывод, что не существует универсального архитектурного подхода, применимого для решения любых задач. Каждая из рассмотренных архитектур обладает собственным набором преимуществ и ограничений, которые делают её наиболее подходящей для одних условий и совершенно неприемлемой для других. В соответствии с представленными данными, можно сформулировать следующие рекомендации для выбора архитектуры:

1) Для простых проектов с четко определенными и неизменными на начальном этапе требованиями, ограниченным бюджетом и жесткими сроками вывода на рынок оптимальным выбором будет монолитная архитектура.

2) Для создания системы, требующей централизованного управления данными и одновременного доступа большого числа пользователей с различных

устройств, наиболее сбалансированным решением является клиент-серверная архитектура.

3) Для предприятий, перед которыми стоит задача интеграции большого числа разнородных систем без их кардинальной переработки, обоснованным является применение сервис-ориентированной архитектуры.

4) Для высоконагруженных систем с непредсказуемым ростом числа пользователей наилучшим выбором является микросервисная архитектура. Важно понимать, что несмотря на высокую популярность, микросервисный подход не является универсальным решением. Для небольших или средних проектов с ограниченными ресурсами его использование может оказаться экономически неоправданным и избыточно сложным.

5) Бессерверная архитектура может быть эффективно использована для разработки ИС с неравномерной нагрузкой. Однако важно принимать во внимание, что её применение связано с жесткой привязкой к технологиям конкретного облачного провайдера.

Исходя из выполненного анализа, решающее значение при выборе архитектуры приобретают такие факторы, как прогнозируемая нагрузка, бюджет проекта, сроки разработки, квалификация команды, а также перспективы дальнейшего развития системы. Учёт этих факторов и следование предложенным рекомендациям позволят принимать более обоснованные решения, а также снизить технические и экономические риски на ранних стадиях проектирования.

Литература

[1]. Туманова М. Б. Проектирование программных систем : учебное пособие / М. Б. Туманова, Е. К. Михайлова, Е. А. Муравьева. М. : РТУ МИРЭА, 2023. 138 с. ISBN 978-5-7339-2050-4. Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/398273> (дата обращения: 03.03.2026). Режим доступа: для авториз. пользователей.

АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АДРЕСНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В АИС

В статье рассматривается проблема автоматизации адресного хранения материальных ценностей в контексте проектирования и использования современных автоматизированных информационных систем (АИС). Проведен анализ существующих алгоритмических подходов к распределению объектов по ячейкам хранения, включая статическое и динамическое распределение, аналитические методы (АВС-анализ), эвристические алгоритмы оптимизации и интеллектуальные системы на основе правил (rule-based). Выполнено сравнение рассмотренных алгоритмов, выявлены их достоинства, недостатки и границы применимости. Обоснована перспективность применения экспертных систем на базе правил для предметных областей со сложной, слабоформализованной логикой размещения, таких как библиотечные фонды и специализированные архивы.

Ключевые слова: адресное хранение, автоматизация, алгоритмы распределения, базы знаний, системы на основе правил, слоттинг, логистика, информационные технологии.

В условиях цифровизации производственных процессов, логистики и управления специализированными фондами (в том числе архивными и библиотечными) задача эффективного использования физического пространства становится одной из ключевых. Традиционные подходы размещения, опирающиеся исключительно на человеческий фактор, опыт и интуицию сотрудников, неизбежно приводят к нерациональному использованию площадей, увеличению времени поиска и высокому уровню ошибок. Внедрение АИС к решению задач размещения позволяет перейти к концепции адресного хранения – подходу, при котором каждому физическому объекту в информационной системе ставится в соответствие уникальный идентификатор его местоположения (зона, стеллаж, полка, ячейка).

Сложность реализации адресного хранения заключается не столько в учете координат, сколько в разработке алгоритма, определяющего, куда именно следует поместить вновь прибывший или где лежит необходимый к выдаче объект. Данная задача (известная в логистике как задача слоттинга) требует учета множества параметров: габаритов объекта, частоты его востребованности, критериев поиска и условий хранения, совместимости с другими объектами и ограничений самой топологии хранилища. Целью данной работы является анализ и сравнение существующих алгоритмов, применяемых для автоматизации процесса адресного хранения.

Обзор существующих алгоритмов и подходов.

Исторически первым и наиболее простым подходом является алгоритм статического (фиксированного) распределения. При статическом подходе за

каждой группой товаров или книг жестко закрепляют конкретные зоны и ячейки. Алгоритм работает по принципу прямого соответствия и берет данные из заранее настроенных справочников. Главный плюс такого решения – предсказуемость. Персонал всегда знает, где искать нужную категорию [1]. Однако у этого метода есть серьезный минус: пространство используется неэффективно. Если места для одной группы товаров закончились, система не разрешит занять пустующие соседние зоны, выделенные под другие категории.

Динамическое или хаотичное хранение работает иначе. В этом случае система выбирает для размещения любую первую попавшуюся свободную ячейку, которая подходит по размеру. Алгоритм проверяет текущую карту занятости и прокладывает кратчайший путь к свободному слоту. Такой метод популярен на складах крупных маркетплейсов, так как позволяет использовать до 95% полезной площади. Но здесь возникает полная зависимость от программы: если в информационной системе произойдет сбой, найти нужный объект вручную будет практически невозможно.

Для ускорения работы часто используют алгоритмы на основе ABC-анализа. Все объекты делят на группы по частоте спроса. Товары группы «А» (самые ходовые) кладут в максимально доступные места, например, поближе к зоне выдачи или на уровне рук. Группу «С» (редкие запросы) убирают в самые дальние или труднодоступные углы [1]. Этот подход отлично экономит время сотрудников, но у него есть ограничение. Он учитывает только популярность товара и игнорирует другие важные условия: температуру, освещенность или правила соседства.

Когда структура хранилища становится слишком сложной, в дело вступают эвристические алгоритмы. Это современные методы, такие как генетические алгоритмы или имитация отжига. Они не просто ищут свободное место, а пытаются найти наилучший вариант из миллионов возможных комбинаций. Такие решения помогают оптимизировать работу в условиях, когда обычные логические правила перестают справляться с объемом данных [2]. Кроме того, математическая модель плохо адаптируется к слабоформализованным, «человеческим» правилам, которые трудно описать в виде строгих уравнений.

Альтернативным подходом, набирающим популярность в специализированных системах (АИС «Библиотека», архивы медицинских карт, хранилища химических реактивов), являются интеллектуальные алгоритмы на основе системы правил (rule-based expert systems). Вместо поиска математического оптимума такие алгоритмы опираются на базу знаний, сформированную из формализованного опыта профильных экспертов (работников хранилища). Механизм логического вывода (inference engine) сопоставляет атрибуты поступающего объекта с иерархией условий «ЕСЛИ-ТО» [3]. Например: «ЕСЛИ книга относится к фонду редких изданий И ее габариты превышают формат А4, ТО назначить полку в закрытом шкафу с климат-контролем на нижнем ярусе».

Данный подход позволяет учитывать бесконечное множество нелинейных критериев, которые невозможно описать обычным математическим

распределением. Он гибок, легко масштабируется путем добавления новых правил в базу знаний без переписывания исходного кода и обеспечивает высокую прозрачность – система всегда может объяснить пользователю, почему объект был помещен именно в эту ячейку.

Сравнительный анализ алгоритмов.

Для наглядной оценки рассмотренных подходов был проведен их сравнительный анализ по ключевым критериям, отражающим потребности современных автоматизированных информационных систем. Результаты анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты анализа алгоритмов адресного хранения объектов

Тип алгоритма	Плотность хранения	Скорость поиска / извлечения	Учет сложных логических ограничений	Зависимость от работоспособности АИС
Статическое распределение	Низкая	Средняя	Низкий	Низкая (сохраняется визуальная логика)
Динамическое (хаотичное)	Очень высокая	Низкая (если не применять ABC)	Низкий	Абсолютная
Оптимизация на базе ABC-анализа	Средняя	Очень высокая	Низкий	Высокая
Эвристические алгоритмы	Высокая	Высокая	Средний (требуется сложное мат. описание)	Высокая
Интеллектуальные rule-based алгоритмы	От средней до высокой	Средняя	Очень высокий (прямой перенос знаний экспертов)	Высокая

Из таблицы следует, что для решения проблемы автоматизации адресного хранения материальных объектов в таких специализированных АИС как «Библиотека» или архивов медицинских карт, хранилища химических реактивов в наибольшей степени соответствует подход на основе интеллектуальных rule-based алгоритмов.

Анализ алгоритмов и решений для устройства адресного хранения показывает, что универсального метода, подходящего для любой предметной области, не существует. Динамическое распределение и математическая эвристика отлично подходят для массовых промышленных складов, где главной целью является скорость конвейера и экономия каждого квадратного метра.

В то же время для фондов с уникальными условиями хранения и сложной классификацией (таких как библиотеки) наиболее целесообразным является применение интеллектуальных алгоритмов на основе rules-based правил. Использование баз знаний позволяет оцифровать многолетний опыт экспертов и

перенести его в логику работы АИС (в том числе на базе платформ корпоративного уровня, таких как 1С: Предприятие). Это не только автоматизирует процесс принятия решений, но и минимизирует ошибки при распределении специфического фонда, делая процесс хранения прозрачным, надежным и адаптивным к изменениям внутренних регламентов организации.

Литература

- [1]. Волгин, В. В. Логистика хранения товаров : практическое пособие / В. В. Волгин. – М. : Дашков и К, 2017. – 368 с.
- [2]. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.
- [3]. Рассел, С. Искусственный интеллект: современный подход / С. Рассел, П. Норвиг. – 3-е изд. ЯЗ М.: Вильямс, 2015. – 1408 с.

*П.В. Муравченков, студ.; рук. А.И. Фомин, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ RULE-BASED ПРАВИЛ АДРЕСНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В АИС

Аннотация:

В статье рассматривается комплексная проблема извлечения, анализа и формализации неявных экспертных знаний, необходимых для автоматизации процессов адресного хранения в специализированных складских, архивных и производственных автоматизированных информационных системах (АИС). Автором предлагается и дается описание поэтапного перехода от субъективного эвристического опыта квалифицированного персонала к строгой логической модели, базирующейся на принципах продукционных систем (rule-based approach). Отдельно раскрыты этапы когнитивного анализа предметной области, структурирования и представление извлеченных из экспертов знаний в базах знаний с их последующей интеграцией в программную среду современных ERP-платформ. Особое внимание уделено механизмам логического вывода и критериям оценки адекватности формализованных правил. Результаты исследования направлены на создание адаптивных интеллектуальных модулей управления информационными потоками в АИС, минимизирующих участие человека-оператора.

Ключевые слова: инженерия знаний, экспертные системы, rule-based алгоритмы, продукционная модель, адресное хранение, автоматизация производства, 1С: Предприятие.

Введение

Современная парадигма развития индустриальных и логистических систем в рамках концепции «Индустрия 4.0» диктует жесткие требования к точности и скорости управления материальными и информационными активами в составе производственных и поисковых АИС. Внедрение автоматизированных систем

адресного хранения является фундаментом для цифровизации любой организации, однако стандартные подходы к распределению объектов часто оказываются несостоятельными в условиях «специального хранения». Под данным термином понимается хранение объектов, обладающих высокой степенью уникальности или требующих специфических условий: от проектной документации в строительстве до прецизионных узлов в машиностроении и отдельных информационных объектов в АИС.

Ключевой проблемой в организациях остается концентрация наиболее эффективных стратегий размещения ключевых данных исключительно в головах опытных сотрудников в виде неявных знаний. Эти знания представляют собой совокупность профессионального опыта, интуиции и глубокого понимания физических процессов внутри хранилища. При увольнении таких специалистов, масштабировании организации и роста информационного потока данных в АИС возникает риск деградации процессов учета и управления ее активами. Результаты исследований показывают, что потери эффективности производственной деятельности организаций в отдельных случаях могут составить до 40% от имеющейся мощности.

Таким образом, разработка научно обоснованных подходов к формализации экспертных знаний для их переноса в интеллектуальные алгоритмы систем адресного хранения в АИС является актуальной задачей, требующей для автоматизации ее решения использования методов логистики, управления и искусственного интеллекта.

Специфика извлечения и структурирования экспертных знаний.

Процесс извлечения и последующего структурирования экспертных знаний в контексте проектирования систем адресного хранения представляет собой трудоемкий этап. Основная сложность данной процедуры заключается в необходимости трансформации неявных, интуитивных знаний человека в явные, формализованные правила, пригодные для машинной обработки [2]. Именно из-за этих ограничений необходимо подбирать такие методы, которые позволят полноценно сформировать знания и правила для рабочей системы, включая поверхностные знания, которые находятся «на поверхности» и глубинные факты, которые с первого взгляда незаметны.

На этапе извлечения знаний критически важным становится преодоление феномена «очевидности». Этот феномен проявляется, когда эксперт может посчитать некоторые части цепочки рассуждений слишком очевидными и не осветить их в должной мере. В связи с этим аналитик вынужден применять совокупность методов извлечения знаний [2]. Как правило, их можно разделить на два вида: активные и пассивные. В таком случае активные – интервьюирование и дискуссии с опытным специалистом, а пассивные – наблюдение за каким-либо процессом со стороны, обращая внимание на каждую мелочь. Это позволяет зафиксировать скрытые зависимости, например, влияние сезонности или специфических характеристик товаров, которые редко можно найти в официальных регламентах, но играют важную роль в оптимизации.

Дальнейшее структурирование полученного объема данных требует построения концептуальной модели предметной области, в которой выделяются ключевые сущности, их атрибуты и отношения. В системах адресного хранения такие структуры должны отражать иерархию топологии склада. Ключевая сложность этого этапа заключается в необходимости приведения неоднородных экспертных знаний к единообразной логической форме. При этом важно сохранить гибкость таких знаний. Формат структурированных данных зависит от выбранной модели представления данных.

Сравнительный анализ моделей представления знаний.

Выбор модели представления экспертных знаний для оптимизации адресного хранения определяет гибкость алгоритмов, и то, на сколько быстро и эффективно будет работать автоматизированная система. На текущий момент существует несколько классических методов, каждый из которых обладает своими достоинствами и ограничениями применительно к задачам складской логистики. Наиболее распространенным подходом является использование продукционных моделей, которые базируются на конструкции «если – то». Сильной стороной продукционных моделей является их простая логика работы и близость к человеческой логике принятия решений. Это значительно упрощает проверку правил экспертами. Основным минус заключается в масштабировании. При значительном увеличении базы данных можно столкнуться с проблемой конфликтов между правилами и сложностями в поддержании логической целостности.

В качестве альтернативы часто рассматриваются фреймовые модели, которые позволяют описывать предметную область через иерархию. В контексте адресного хранения фрейм идеально подходит для описания топологии склада, где конкретная ячейка наследует свойства стеллажа, секции и так далее. Объекты фреймовой модели позволяют хранить как статические характеристики, например, габариты, так и динамические показатели, такие как текущая заполненность [1]. Основное преимущество фреймового подхода заключается в простоте масштабирования и поддержании единой структуры.

Семантические сети предлагают иной взгляд на организацию знаний, фокусируясь на связях между объектами предметной области. Эта модель отлично подходит для моделирования сложных ассоциаций. Например, правила товарного соседства или приоритеты сборки заказов. Хотя такие сети дают глубокое понимание связей, их реализация требует серьезных вычислительных мощностей, что не всегда оправдано в оперативной работе АИС.

Этапы формализации и алгоритмизация процессов хранения информационных объектов в АИС.

Процесс перевода экспертного опыта в программный код начинается с точного описания всех объектов хранения. На этом этапе каждый физический товар или складская ячейка превращаются в набор строгих параметров. Мы выделяем ключевые характеристики: размеры, вес, сроки годности и частоту обращений к объекту. Эксперт помогает определить, какие именно признаки критически важны для эффективной работы. В результате реальный предмет

становится цифровой моделью, где каждое свойство превращается в конкретную переменную для будущих расчетов.

Следующим шагом становится логическая формализация выявленных связей. Здесь интуитивные догадки человека принимают вид четких математических условий. Например, общее правило о размещении тяжелых грузов на нижних ярусах переводится в строгую логическую конструкцию «если – то». Каждое такое правило получает свой вес и приоритет в общей иерархии системы. Это позволяет программе сравнивать разные критерии и выбирать оптимальное место для хранения без участия человека [1]. Так создается логический каркас, который исключает двоякое толкование инструкций.

Собственно алгоритмизация завершает этот процесс, превращая отдельные правила в единую последовательность действий. Алгоритм описывает, в каком порядке система должна проверять условия и как реагировать на изменения в реальном времени. Важной частью этой работы является создание механизмов для решения конфликтов. Если на одно идеальное место претендуют два разных груза, алгоритм должен быстро выбрать приоритетный вариант на основе заложенных в него коэффициентов [3]. В итоге АИС получает надежный инструмент, который работает быстро и предсказуемо даже при пиковых нагрузках на склад.

Правильно выстроенная последовательность этапов превращает разрозненный опыт персонала в форматированный цифровой алгоритм. Это делает систему адресного хранения гибкой и позволяет легко вносить изменения при изменении потребностей логистики. Формализованные знания становятся фундаментом, на котором строится вся автоматизация современных складских процессов.

Заключение

Создание систем на основе правил для адресного хранения – это сложная задача, которая требует знаний из разных областей. Здесь успех автоматизации зависит не от мощности серверов, а от качества работы с экспертами. Важно глубоко проработать этап инженерии знаний. Именно правильный перенос опыта специалистов в цифровую форму позволяет создать четкую структуру для учета и размещения любых объектов в системе.

Когда мы объединяем логические модели с современными ERP-платформами, получаются гибкие инструменты. Такие системы умеют быстро подстраиваться под изменения на производстве. По сути, превращение личного опыта сотрудников в строгие алгоритмы управления становится важным шагом. Это делает инфраструктуру предприятия более «умной» и помогает ему оставаться конкурентоспособным в условиях цифровой экономики.

Литература

- [1]. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Ф. Хорошевский. – СПб. : Питер, 2000. – 384 с.
- [2]. Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Д. Джарратано, Г. Райли. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.

*Д.М. Набиев, студ.; рук. Ю.В. Синявский, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СТЕНДОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Обеспечение информационной безопасности в учебных компьютерных лабораториях представляет собой сложную многоплановую задачу, требующую комплексного подхода к защите программно-аппаратных комплексов от непреднамеренных или злоумышленных действий пользователей. Актуальность данной проблемы подтверждается статистическими данными исследовательской компании Kaspersky, согласно которым более 65% учебных заведений регулярно сталкиваются с инцидентами информационной безопасности, непосредственно связанными с деятельностью студентов в компьютерных классах [1]. Традиционно для решения подобных задач используются системы, основанные на принципе «глубокого замораживания», такие как Deep Freeze [2] и аналогичные решения, которые обеспечивают восстановление исходного состояния операционной системы после перезагрузки компьютера. Однако фундаментальным недостатком такого подхода является его реактивный характер – система не предотвращает возникновение инцидентов в реальном времени, а лишь ликвидирует их последствия после завершения рабочей сессии, что неизбежно приводит к существенным потерям учебного времени и серьезным нарушениям образовательного процесса, особенно когда инцидент происходит во время проведения занятия. Современный рынок программных решений для защиты компьютерных лабораторий предлагает два принципиально различных подхода к организации безопасности. Реактивные системы, к которым относятся упомянутые Deep Freeze и Shadow Defender [3], ориентированы на восстановление системы к первоначальному состоянию после перезагрузки, что обеспечивает надежную защиту от персистентных изменений, но совершенно не эффективно против инцидентов, возникающих в процессе работы [4]. Проактивные системы, такие как Faronics Anti-Executable, реализуют более прогрессивный подход через механизмы контроля запуска приложений на основе «белых списков», однако их функциональные возможности существенно ограничены в части анализа поведенческих паттернов пользователей и не обеспечивают комплексной защиты от всего спектра потенциальных угроз.

Именно этот пробел в области защиты учебных компьютерных систем и призвана заполнить разрабатываемая система, которая реализует принципиально новую архитектуру, органично сочетающую проактивный мониторинг действий пользователей с передовыми механизмами гарантированного восстановления работоспособности системы. Разрабатываемая система защиты лабораторных компьютерных стендов основана на модульной архитектуре, что обеспечивает ее

высокую гибкость, легкую масштабируемость и простоту технического обслуживания.

Дерево программных модулей программы представлено на рисунке 1.

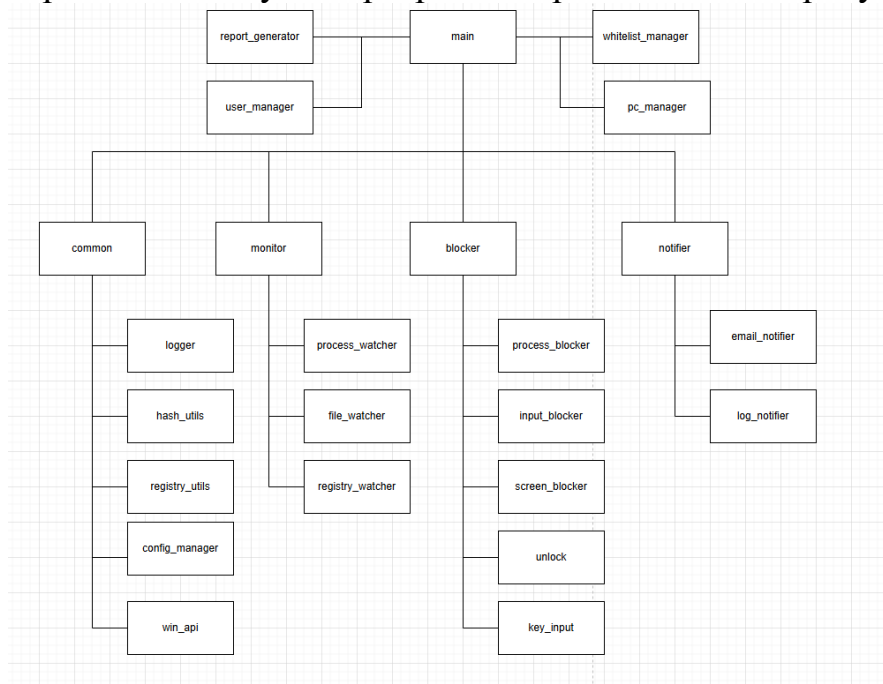


Рис. 1. Дерево программных модулей

Центральным компонентом системы является модуль мониторинга процессов, который осуществляет непрерывный контроль за запуском исполняемых файлов всех основных форматов, включая exe, msi и bat, используя для этого низкоуровневые API операционной системы Windows. Для каждого запускаемого процесса выполняется комплексная проверка, включающая анализ цифровой подписи, вычисление криптографических хэш-сумм и обязательную верификацию в централизованно управляемом «белом списке» разрешенных приложений. Особенностью системы является модуль анализа запускаемых процессов и действий пользователя, который осуществляет мониторинг в реальном времени с использованием библиотек psutil (отслеживание новых процессов) и watchdog (мониторинг изменений файловой системы и реестра). Выявление потенциально опасных операций производится на основе трёхступенчатой проверки:

1. Сравнение имени процесса и полного пути с локальным «белым списком»
2. Вычисление криптографического хэша файла (SHA-256 с использованием hashlib) и сверка с сохранённым значением в белом списке.
3. Анализ типа расширения и последних действий пользователя (хранение истории 10-20 событий).

При обнаружении несоответствия (отсутствие в белом списке, несовпадение хэша или подозрительное поведение) система немедленно инициирует многоуровневый ответ: принудительное завершение процесса, временное отключение устройств ввода, вывод полноэкранного блокирующего интерфейса с полем ввода ключа и запись события в журнал инцидентов. Разблокировка

возможна только после успешной верификации ключа ответственным за аудиторию или администратором.

Важнейшим компонентом системы является разработанный механизм создания и восстановления снимков операционной системы, который использует технологию Volume Shadow Copy Service [5] для планового и внепланового создания полных образов системного раздела. Ключевой особенностью данной реализации является предоставление пользователю возможности выбора режима загрузки при старте системы – восстановление из заранее подготовленного эталонного образа или продолжение работы в текущей сессии. Меню выбора режима загрузки представлено на рисунке 2.

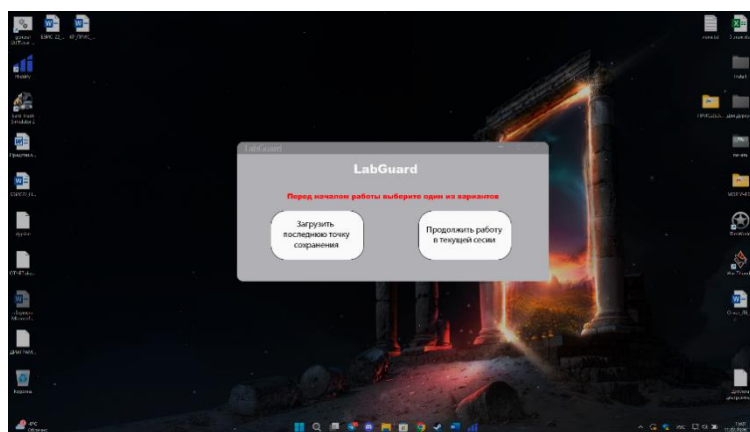


Рис. 2. Меню выбора режима загрузки пользователя

Эта функциональность позволяет сохранить пользовательские данные и результаты работы при отсутствии зафиксированных инцидентов безопасности, что кардинально отличает систему от традиционных решений [4], которые всегда откатывают систему к исходному состоянию. Для обеспечения полноценного учёта и анализа всех событий безопасности в системе реализована специализированная база данных инцидентов, которая фиксирует каждую попытку нарушения установленных политик безопасности с детальной информацией о пользователе, точном времени события, конкретном типе нарушения и предпринятых автоматических мерах противодействия.

Практическая апробация разработанной системы проводилась в условиях реальной учебной лаборатории, оснащённой двадцатью персональными компьютерами, в течение непрерывного тридцатидневного периода. За время тестирования было зафиксировано и успешно предотвращено сто семь попыток различных нарушений установленного регламента работы, которые можно классифицировать по следующим категориям: примерно 67% от общего количества составили попытки установки неподдерживаемого программного обеспечения, 21% – запуск неавторизованных portable-приложений, и оставшиеся 13% – попытки несанкционированного изменения системных настроек и конфигураций. Измерения производительности системы показали, что среднее время реакции на потенциально опасные действия составляет всего 85 миллисекунд, что обеспечивает надёжную блокировку угроз до момента их

реального воздействия на операционную систему. Отдельное тестирование механизма восстановления работоспособности подтвердило стопроцентную эффективность возврата компьютерных систем к эталонному состоянию при сохранении приемлемых временных характеристик развёртывания – от 8 до 12 минут на один компьютер, что позволяет успешно проводить процедуру восстановления в перерывах между учебными занятиями.

Таким образом, разработанная система демонстрирует высокую практическую эффективность в решении комплексной задачи защиты лабораторных компьютерных стендов от несанкционированных действий пользователей. Уникальное сочетание проактивного мониторинга с надёжным механизмом восстановления обеспечивает принципиально новый уровень безопасности по сравнению с традиционными решениями, представленными на рынке. Перспективы дальнейшего развития системы включают несколько стратегических направлений, таких как интеграция с современными системами управления обучением (LMS), внедрение алгоритмов машинного обучения для реализации предиктивной аналитики и существенная оптимизация механизма создания системных снимков для сокращения требований к дисковому пространству и уменьшения времени развёртывания. Реализация этих направлений позволит не только повысить эффективность системы защиты, но и расширить область её применения за пределы учебных лабораторий на другие сферы, где требуется обеспечение контроля целостности программной среды.

Литература

- [1]. Kaspersky. Отраслевой обзор киберугроз для образовательных учреждений [Электронный ресурс] // Kaspersky: URL: <https://www.kaspersky.ru/resource-center/threats/cyberthreats-educational-institutions> (дата обращения 01.11.2025).
- [2]. Deep freeze cloud [Электронный ресурс] // Microsoft: URL: <https://deepfreeze.com/ProductDataAndPrivacy.html> (дата обращения 11.02.2026).
- [3]. Особенности Shadow Defender [Электронный ресурс] // Microsoft: URL: <http://www.shadowdefender.com/> (дата обращения 11.02.2026).
- [4]. Faronics. Deep Freeze System Administration Guide [Электронный ресурс] // Faronics: URL: <https://www.faronics.com/document-library> (дата обращения 30.10.2025).
- [5]. Microsoft. Volume Shadow Copy Service Technical Reference [Электронный ресурс] // Microsoft: URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/vss/volume-shadow-copy-service-portal> (дата обращения 03.11.2025).

ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ TOTP

Использование различных онлайн-сервисов является одним из основных методов использования Интернета. Многие из них требуют создания аккаунтов, и необходимые меры безопасности в вопросах подтверждения аутентификации постоянно дополняются и улучшаются. В первые годы существования Интернета было достаточно простого логина и пароля, но на сегодняшний день эти меры считаются недостаточными. Для обеспечения безопасности необходимо использовать более одного метода, доказывающего, что пользователь является владельцем аккаунта. Одним из них является фактор владения – использование дополнительного устройства, которым владеет владелец аккаунта. В этом случае наиболее часто применяется одноразовый пароль, формируемый на основе временной метки – алгоритм TOTP (Time-based One-Time Password), описанный в RFC 6238 [1].

Алгоритм TOTP является расширением алгоритма HOTP (RFC 4226) [2], в котором счётчик событий заменён временным: код обновляется каждые 30 секунд. Вычисление выполняется путём применения хеш-функции HMAC-SHA1 к секретному ключу и текущему временному интервалу с последующим усечением результата до шестизначного числа [1]. Секретный ключ передаётся от сервиса пользователю однократно, это происходит через QR-код в формате `otpauth://`, содержащий ключ в кодировке Base32, или вводом ключа вручную.

На данный момент существует множество приложений, позволяющих генерировать пароли по алгоритму TOTP. Рассмотрим наиболее распространённые из них.

Google Authenticator – приложение от Google для Android и iOS. Долгое время пользователь не мог экспортировать свои ключи, чтобы использовать их в другом приложении – при необходимости переноса аккаунта на новое устройство, генерировался особый QR-код, который мог быть прочитан только самим Google Authenticator. В 2023 году в приложение была добавлена возможность синхронизировать ключи с аккаунтом Google, но этот метод все ещё не позволяет перенести ключи в другое приложение [4].

Microsoft Authenticator – приложение от Microsoft для Android и iOS. Существует возможность сохранить копию ключей в аккаунте Microsoft. Возможность сохранить ключи в локальный файл для самостоятельного хранения или экспорта в другие приложения отсутствует [5].

Authy – приложение от Twilio для Android и iOS. Долгое время выделялось поддержкой настольных клиентов для Windows и macOS, однако в марте 2024 года их поддержка была прекращена. Экспорт секретных ключей в файл не предусмотрен, синхронизация между устройствами осуществляется исключительно через сервисы Authy [5].

Aegis – бесплатный аутентификатор с открытым исходным кодом для Android. Поддерживает экспорт хранилища в локальный JSON-файл как в зашифрованном, так и в открытом виде, а также импорт из множества других аутентификаторов, включая Google Authenticator, Microsoft Authenticator и 2FAS [6].

2FAS – аутентификатор с открытым исходным кодом для Android и iOS с расширениями для браузеров. Поддерживает экспорт в локальный файл в собственном формате .2fas на основе JSON, а также импорт из Aegis, Google Authenticator и ряда других приложений. Резервное копирование в облако является опциональным [7].

2fast – аутентификатор с открытым исходным кодом, ориентированный на платформу Windows. Хранит зашифрованное хранилище в локальном файле без зависимости от облачных сервисов; файл можно скопировать вручную для резервирования или переноса. На момент написания статьи мобильное приложение находилось на стадии разработки [8].

Ente Auth – аутентификатор с открытым исходным кодом для Android, iOS, Windows, macOS и Linux. Поддерживает сквозное шифрование при облачной синхронизации, и автономную работу без создания аккаунта. Экспорт доступен в текстовый файл без шифрования или с шифрованием [9].

Таблица 1. Сравнение функционала приложений

Приложение	Android	iOS	Windows	macOS	Linux	Экспорт в локальный файл
Google Authenticator	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет (QR-перенос)
Microsoft Authenticator	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Нет (QR-перенос)
Authy	Да	Да	Нет*	Нет*	Нет	Нет (только облако)
Aegis	Да	Нет	Нет	Нет	Нет	Да (JSON)
2FAS	Да	Да	Нет	Нет	Нет	Да (.2fas / JSON)
2fast	В разр.	Нет	Да	Нет	Нет	Да (файл хранилища)
Ente Auth	Да	Да	Да	Да	Да	Да (txt / зашифр.)

* Поддержка настольных клиентов прекращена в марте 2024 года.

Произведенный обзор (Таб. 1) указывает на закономерность: большинство приложений имеют мобильные версии, тогда как поддержка настольных операционных систем является исключением. Из семи приложений

полноценный десктопный клиент для Windows предоставляют только 2fast и Ente Auth.

Возможность экспорта ключей в локальный файл для самостоятельного контроля их безопасности при переходе к другим приложениям или устройствам является важной функцией, но Google Authenticator, Microsoft Authenticator и Authy намеренно ограничивают этот механизм: первое предоставляет лишь QR-перенос внутри самого приложения, второе не предусматривает возможности переноса для сторонних приложений [4, 5]. Authy в течение всего периода существования хранил ключи исключительно в проприетарном облаке без предоставления пользователю файла резервной копии, что привело к непростой ситуации для пользователей настольной версии в 2024 году, когда было объявлено о прекращении её поддержки [5].

В свою очередь, Aegis, 2FAS, 2fast и Ente Auth позволяют сохранить данные в файл. Aegis сохраняет хранилище в JSON-формате с возможностью шифрования, 2FAS – в собственном формате формата .2fas на основе JSON. Ente Auth экспортирует данные в текстовый файл с возможностью шифрования, поддерживает автоматическое резервное копирование, а также позволяет полностью отказаться от облачной синхронизации [9]. Приложение 2fast хранит все данные в одном зашифрованном файле, который пользователь может скопировать вручную, однако импорт из форматов других приложений не реализован.

Проведённый обзор показывает, большинство из рассмотренных реализаций протокола TOTP имеет существенные ограничения: отсутствие настольного клиента или невозможность экспортировать ключи в локальный файл для надлежащего хранения. На их фоне Ente Auth выглядит наиболее функционально полным из рассмотренных решений: приложение поддерживает все основные платформы, обеспечивает файловый экспорт и допускает автономную работу без облачной синхронизации. Тем не менее его разработка сосредоточена за рубежом, а среди отечественных программных продуктов аналог с сопоставимыми возможностями отсутствует, что открывает перспективу для разработки собственного решения в данной области.

Литература

- [1]. M'Raihi D., Machani S., Pei M., Rydell J. TOTP: Time-Based One-Time Password Algorithm. RFC 6238. IETF, May 2011. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc6238> (дата обращения: 01.03.2025).
- [2]. M'Raihi D., Bellare M., Hoornaert F., Naccache D., Ranen O. HOTP: An HMAC-Based One-Time Password Algorithm. RFC 4226. IETF, December 2005. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4226> (дата обращения: 01.03.2025).
- [3]. Linus Karlsson, Mattias Åström. Evaluation of Two-Factor Authentication methods. Linköping University, 2021. URL: <https://liu.diva-portal.org/smash/get/diva2:1575504/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения: 01.03.2025).
- [4]. Ente.io. Ente Auth vs 2FAS vs Aegis vs Google vs Microsoft. URL: <https://ente.io/compare/ente-auth-vs-others/> (дата обращения: 01.03.2025).
- [5]. Bentasker B. Moving my 2FA Codes from Authy to Aegis. URL: <https://www.bentasker.co.uk/posts/blog/general/switching-to-aegis-for-totp-codes.html> (дата обращения: 01.03.2025).
- [6]. Aegis Authenticator. GitHub. URL: <https://github.com/beemdevelopment/Aegis> (дата обращения: 01.03.2025).
- [7]. 2FAS. Import & Export. Bitwarden Help. URL: <https://bitwarden.com/help/authenticator-import-export/> (дата обращения: 01.03.2025).

[8]. 2fast-team. 2fast – Two Factor Authenticator. GitHub. URL: <https://github.com/2fast-team/2fast> (дата обращения: 01.03.2025).

[9]. Ente Auth. Export and backup. URL: <https://ente.io/help/auth/migration/export> (дата обращения: 01.03.2025).

*В.С. Обухов, студ.; рук. А.И. Гаврилов, старший преподаватель
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ЛАГОВ И ДЖИТТЕРА В ОНЛАЙН-ИГРАХ

Развитие информационных технологий и сети Интернет привело к значительному росту популярности многопользовательских онлайн-игр. Современные игровые проекты позволяют тысячам пользователей взаимодействовать между собой в виртуальном пространстве в режиме реального времени. Онлайн-игры используются не только как форма развлечения, но и как платформа для киберспортивных соревнований, где от скорости реакции и точности действий зависит итоговый результат. В таких условиях особое значение приобретает стабильность сетевого соединения между игроком и игровым сервером.

Однако в процессе сетевого взаимодействия нередко возникают проблемы, связанные с задержками передачи данных. Наиболее распространенными из них являются лаги и джиттер. Эти явления негативно влияют на игровой процесс, ухудшают плавность движения объектов и могут создавать несправедливые условия для участников игры. В связи с этим разработчики программного обеспечения и сетевые инженеры уделяют большое внимание поиску эффективных методов уменьшения сетевых задержек и повышения стабильности соединения.

Лag в онлайн-играх представляет собой задержку между действием пользователя и его отображением на игровом сервере или на экранах других игроков. Например, игрок может нажать кнопку движения персонажа или выстрела, однако результат данного действия появится в игре только спустя определенное время. Подобные задержки могут приводить к тому, что персонаж начинает двигаться с опозданием, действия выполняются несвоевременно, а игровой процесс становится менее точным и предсказуемым. Основным показателем, характеризующим задержку соединения, является параметр *ping*, который измеряется в миллисекундах и показывает время передачи сигнала от компьютера игрока до сервера и обратно [1].

Помимо лага, важной проблемой сетевого взаимодействия является джиттер. Джиттер представляет собой изменение или колебание времени передачи пакетов данных по сети. Если пакеты приходят с различной задержкой, это может вызывать неравномерность отображения движения объектов и появление рывков в игровом процессе. Даже при относительно низком среднем значении задержки сильные колебания времени доставки пакетов могут значительно ухудшить плавность игры. В динамичных сетевых играх, таких как шутеры или соревновательные стратегии, джиттер может стать причиной потери точности управления и снижать эффективность действий игрока [2].

Причины возникновения лагов и джиттера могут быть связаны с различными факторами, как сетевого, так и технического характера. Одной из наиболее распространенных причин является большое расстояние между пользователем и игровым сервером. Передача данных в сети Интернет осуществляется через множество промежуточных узлов и маршрутизаторов. Каждый такой узел обрабатывает поступающие пакеты и передает их дальше по сети. Чем больше расстояние между клиентом и сервером, тем больше времени требуется для передачи информации. Именно поэтому большинство крупных игровых компаний размещают серверы в различных регионах мира, чтобы пользователи могли подключаться к ближайшему центру обработки данных [3].

Другой важной причиной возникновения задержек является перегрузка сети. Если большое количество пользователей одновременно передает данные через один и тот же сетевой канал, его пропускная способность может оказаться недостаточной. В результате пакеты начинают накапливаться в буферах сетевых устройств, что приводит к увеличению времени передачи информации. Подобная ситуация может возникать как на стороне провайдера, так и в домашней сети пользователя, если несколько устройств одновременно используют интернет-соединение для загрузки данных или просмотра потокового видео.

Еще одной распространенной причиной появления лагов является потеря сетевых пакетов. Потеря пакетов возникает в том случае, когда данные не доходят до получателя из-за ошибок передачи или перегрузки сетевого оборудования. При обнаружении потери пакета система может попытаться отправить информацию повторно, что увеличивает задержку и ухудшает стабильность соединения. В результате в игре могут наблюдаться резкие перемещения персонажей, пропуск обновлений состояния объектов или временные зависания изображения [4].

Нестабильность беспроводных сетей также может вызывать появление джиттера. Беспроводные соединения Wi-Fi подвержены различным помехам, которые могут возникать из-за физических препятствий, других сетей или электронных устройств. Кроме того, качество сигнала может изменяться в зависимости от расстояния до маршрутизатора и уровня загруженности радиоканала. По этой причине беспроводное соединение зачастую менее стабильно по сравнению с проводным подключением.

В некоторых случаях причиной лагов может быть недостаточная производительность оборудования пользователя. Если компьютер, маршрутизатор или сетевой адаптер не способны обрабатывать сетевые пакеты с необходимой скоростью, возникают дополнительные задержки. Устаревшие устройства могут ограничивать скорость передачи данных и снижать эффективность сетевого взаимодействия.

Для уменьшения влияния сетевых задержек разработчики онлайн-игр применяют различные методы оптимизации передачи данных. Одним из наиболее распространенных решений является использование сетевого протокола UDP (User Datagram Protocol). В отличие от протокола TCP, который

требует подтверждения получения каждого пакета данных, UDP позволяет передавать информацию без обязательной проверки доставки. Такой подход значительно снижает время передачи данных и позволяет уменьшить задержку взаимодействия между игроком и сервером. Несмотря на то, что UDP не гарантирует доставку всех пакетов, для игровых приложений это является допустимым компромиссом, поскольку небольшая потеря данных менее критична, чем высокая задержка [5].

Еще одним эффективным методом является использование буфера джиттера. Данный механизм представляет собой временное хранилище для входящих пакетов данных. Пакеты сохраняются в буфере на короткий промежуток времени, после чего передаются в игровой процесс через равные интервалы. Благодаря этому сглаживаются колебания задержки передачи данных и уменьшается вероятность возникновения рывков в отображении игровых объектов.

В современных сетевых играх также активно применяется метод интерполяции движения объектов. Сервер периодически отправляет клиентам обновления состояния игрового мира, включая координаты персонажей и других объектов. Между этими обновлениями клиентская программа вычисляет промежуточные значения положения объектов, создавая плавную анимацию движения. Такой подход позволяет уменьшить визуальные рывки и делает игровой процесс более комфортным для пользователя.

Если обновления данных от сервера временно задерживаются, может применяться метод экстраполяции. В этом случае система прогнозирует дальнейшее движение объекта на основе его текущей скорости и направления. Хотя подобный прогноз не всегда оказывается полностью точным, он позволяет временно компенсировать задержку передачи данных и поддерживать непрерывность игрового процесса [6].

Кроме того, разработчики используют различные методы компенсации сетевой задержки на стороне сервера. Например, сервер может учитывать время задержки соединения каждого игрока при обработке его действий. Если сигнал от игрока приходит с опозданием, система может анализировать состояние игрового мира на момент совершения действия, а не на момент получения сообщения сервером. Такой подход позволяет уменьшить влияние сетевых задержек на результаты игровых действий.

Важную роль в уменьшении лагов играет использование распределенной серверной инфраструктуры. Современные игровые проекты используют сеть дата-центров, расположенных в различных регионах мира. Игрок автоматически подключается к серверу, который находится ближе всего к его географическому расположению. Это позволяет существенно уменьшить расстояние передачи данных и снизить сетевую задержку. Дополнительно применяются системы балансировки нагрузки, распределяющие пользователей между несколькими серверами и предотвращающие перегрузку оборудования [7].

Помимо программных решений, значительную роль играет оптимизация сетевого соединения со стороны пользователя. Использование проводного

подключения к сети Интернет позволяет повысить стабильность соединения и уменьшить вероятность возникновения джиттера. Также рекомендуется закрывать программы, активно использующие сетевые ресурсы, и выбирать ближайшие игровые серверы при подключении к игре. Использование современного сетевого оборудования и обновление драйверов также способствует повышению качества сетевого взаимодействия.

Таким образом, лаги и джиттер являются важными проблемами сетевых онлайн-игр, поскольку они напрямую влияют на качество игрового процесса и взаимодействие между игроками. Основными причинами их возникновения являются сетевые задержки, перегрузка каналов связи, потеря пакетов, нестабильность беспроводных сетей и ограничения аппаратного обеспечения. Для уменьшения влияния данных факторов применяются различные методы оптимизации, включая использование протокола UDP, буферизацию джиттера, интерполяцию и экстраполяцию движения объектов, а также распределенные серверные системы. Комплексное применение перечисленных технологий позволяет значительно повысить стабильность работы онлайн-игр и обеспечить более комфортный игровой процесс для пользователей.

Литература

- [1]. Куроуз Дж. Компьютерные сети. Нисходящий подход / Дж. Куроуз, К. Росс; перевод с английского – Москва: Вильямс, 2020. – 912 с. – ISBN 978-5-8459-2042-4.
- [2]. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум, Д. Уэзеролл; перевод с английского – Санкт-Петербург: Питер, 2016. – 960 с. – ISBN 978-5-496-01967-5.
- [3]. Свед Й. Алгоритмы и сетевые технологии в компьютерных играх / Й. Свед, Х. Хаконен; перевод с английского – Москва: ДМК Пресс, 2018. – 420 с. – ISBN 978-5-97060-512-0.
- [4]. Стевенс У. Иллюстрированный справочник TCP/IP. Протоколы / У. Стевенс; перевод с английского – Москва: Вильямс, 2019. – 672 с. – ISBN 978-5-8459-1981-7.
- [5]. Официальная документация протокола UDP // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://datatracker.ietf.org> (дата обращения: 12.03.2026).
- [6]. Фидлер Г. Сетевое программирование для разработчиков игр // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gafferongames.com> (дата обращения: 12.03.2026).
- [7]. Bernier Y. Методы компенсации задержки в клиент-серверных игровых протоколах // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developer.valvesoftware.com> (дата обращения: 12.03.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ОБРАЩЕНИЙ В СЛУЖБУ ПОДДЕРЖКИ

В условиях стремительного роста цифровых услуг организации сталкиваются с проблемой обработки постоянно увеличивающегося потока запросов в службы поддержки. Ручная обработка приводит к росту нагрузки на персонал и снижению качества обслуживания. Эффективным решением данной проблемы является применение методов машинного обучения для автоматической классификации текстовых обращений, что позволяет значительно сократить время реакции и повысить общую удовлетворенность клиентов.

Целью данной работы является сравнительный анализ трех базовых алгоритмов машинного обучения для решения задачи классификации текстовых обращений пользователей. Для исследования был сформирован набор данных, состоящий из 400 сообщений, равномерно распределенных по четырем категориям: «Оплата», «Техническая проблема», «Общий вопрос» и «Предложение». Сбалансированность выборки обеспечивает объективность последующей оценки.

Предварительная обработка текста включала стандартные этапы: приведение всех символов к нижнему регистру, удаление знаков препинания и цифровых символов с помощью регулярных выражений, разбиения текста на отдельные слова и исключение стоп-слов русского языка (союзов, предлогов, частиц), не несущих значимой смысловой нагрузки.

Векторизация текста осуществлялась с использованием подхода TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency). Вес термина t в документе d определяется произведением его частоты в документе и обратной частоты во всем массиве документов [1]: $TF - IDF(t, d, D) = TF(t, d) * IDF(t, D)$.

Для сравнительного анализа были выбраны следующие алгоритмы: наивный байесовский классификатор, логистическая регрессия и метод опорных векторов. Данные методы являются классическими и наиболее часто применяемыми в задачах обработки естественного языка.

Наивный байесовский классификатор основан на теореме Байеса [2]: $P(c|x) = \frac{P(c)*P(x|c)}{P(x)}$. В рамках мультиномиальной модели, вероятность того, что документ x принадлежит классу c , вычисляется как: $P(x|c) = \prod_{i=1}^n P(x_i|c)$ где $P(x_i|c)$ - вероятность появления слова x в классе c , оцениваемая с использованием сглаживания Лапласа.

Логистическая регрессия оценивает вероятность принадлежности к целевому классу как [2]: $P(y = 1|x) = \frac{1}{1 + e^{-(w^t * x + b)}}$.

Метод опорных векторов с линейным ядром направлен на построение разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором между классами путем решения оптимизационной задачи [2]: $\min_{w,b} * \frac{1}{2} ||w||^2$.

Качество классификации оценивалось с помощью стандартных метрик: точности, полноты и F1-меры [3].

Точность (Precision) показывает долю объектов, названных классификатором положительными и действительно являющихся таковыми: $Precision = \frac{TP}{TP+FP}$, где TP – истинно положительные, FP – ложно положительные решения классификатора.

Полнота (Recall) отражает долю найденных положительных объектов: $Recall = \frac{TP}{TP+FN}$, где TP - истинно положительные, FN – ложно отрицательные решения классификатора.

F1-мера является гармоническим средним точности и полноты [3]: $F_1 = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall}$.

Выбор данных метрик обусловлен спецификой задачи классификации обращений. Точность важна для минимизации ошибочной маршрутизации заявок. Полнота критична для обнаружения всех обращений по конкретной проблеме, особенно в категориях «Техническая проблема» и «Оплата». F1-мера позволяет получить сбалансированную оценку, особенно в случаях неравной значимости точности и полноты для разных категорий.

Результаты экспериментов показали, что наивный байесовский классификатор продемонстрировал точность 67.8% на кросс-валидации и 66.2% на тестовой выборке. Логистическая регрессия показала результаты 75.3% и 72.5% соответственно. Наилучший результат был достигнут методом опорных векторов с точностью 75.3% на кросс-валидации и 75.0% на тесте. Незначительное расхождение между результатами на валидации и тесте свидетельствует о стабильности обученных моделей и отсутствии переобучения.

Оценка стабильности моделей проводилась путем анализа отклонения метрик при кросс-валидации. Наиболее устойчивые результаты показал метод опорных векторов с отклонением 8,7%, Логистическая регрессия оказалась менее стабильной - 12,1%, а наивный байесовский классификатор продемонстрировал промежуточный результат 8,97%.

Детальный анализ модели SVM по каждой категории представлен в таблице 1.

Таблица 1. Метрики качества метода опорных векторов по категориям

Категория	Точность	Полнота	F1-мера
Оплата	0.88	0.70	0.78
Техническая проблема	0.73	0.55	0.63
Общий вопрос	0.54	0.75	0.62
Предложение	0.95	1.00	0.98

Анализ ошибок классификатора SVM с использованием матрицы неточностей выявил закономерности в работе модели. В категории «Оплата» 14 из 20 сообщений были классифицированы правильно, при этом 1 обращение ошибочно попало в «Техническую проблему», а 5 в «Общий вопрос». Наибольшие трудности возникли при обработке технических и общих вопросов. Из 20 сообщений о технических сбоях верно были распознаны только 11. 15 сообщений из категории «Общий вопрос» модель определила корректно, при этом 3 обращения были ошибочно отнесены к техническому сбою, 1 к «Оплате» и 1 к «Предложениям». Абсолютная точность наблюдалась в категории «Предложение», где все 20 сообщений были классифицированы без ошибок.

Проверка на ранее неиспользованных данных показала устойчивость алгоритма. Все тестовые сообщения получили правильные метки, а показатель достоверности решений колебался в диапазоне от 0.68 до 0.98, что свидетельствует о стабильности модели на новых данных.

Наивысшая эффективность отмечена для категории «Предложение». Это связано с преобладанием в текстах побудительных формулировок, прямых рекомендаций разработчикам и предложений по улучшению продукта. В то же время, разделение технических запросов и общих вопросов остаётся проблемным, что объясняется схожестью используемой лексики.

Практическая ценность работы заключается в возможности интеграции предложенного подхода в системы поддержки клиентов. Модель на базе SVM может стать основой модуля автоматической сортировки заявок в корпоративных CRM-системах. Внедрение такого классификатора позволит снизить нагрузку на специалистов и ускорить обработку запросов.

Литература

- [1]. Manning C.D., Raghavan P., Schütze H. Introduction to Information Retrieval. Cambridge University Press, 2008.
- [2]. Bishop C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. Springer, 2006.
- [3]. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ НА РЫНКЕ ЦЕННЫХ БУМАГ

Функционирование рынка ценных бумаг сопровождается непрерывным формированием временных рядов, отражающих изменение цен финансовых инструментов, при этом во временных рядах могут возникать значения, не соответствующие характерной динамике, которые рассматриваются как аномальные. Это может быть обусловлено техническими сбоями, ошибками передачи данных или нетипичными изменениями рыночной активности. Такие отклонения способны приводить к искажению результатов анализа и снижению достоверности принимаемых решений. В связи с этим выявление аномалий является актуальной задачей анализа данных рынка ценных бумаг, направленной на повышение достоверности анализа временных рядов и обеспечение корректной обработки финансовых данных [1].

Цель исследования состояла в анализе эффективности методов выявления аномалий в данных на рынке ценных бумаг. Под эффективностью здесь понимается сочетание точности выявления аномалий и затрат вычислительных и временных ресурсов на подготовку и выявление моделей детектирования аномалий.

В настоящее время для выявления аномалий во временных рядах применяются три основные группы методов: статистические методы, методы машинного обучения и методы, основанные на анализе структуры временного ряда. Статистические методы основаны на оценке отклонений значений от характерного уровня - отличаются простотой реализации, однако их применение ограничено при наличии трендовых и сезонных компонент. Методы машинного обучения позволяют выявлять более сложные зависимости, но при этом требуют обучающих данных и значительных вычислительных ресурсов. Методы, основанные на анализе структуры временного ряда, в частности STL-декомпозиция, предполагают разложение ряда на компоненты, что дает возможность анализировать отклонения по остаточной составляющей, очищенной от регулярных изменений [1].

Учитывая вышеперечисленные факторы, актуальной следует считать задачу построения системы выявления аномалий в данных рынка ценных бумаг с учётом структуры временных рядов.

Анализ существующих подходов показывает, что выбор метода выявления аномалий во временных рядах существенно влияет на точность анализа данных рынка ценных бумаг. Применение статистических методов основано на предположении о стационарности временного ряда и использовании его статистических характеристик, таких как среднее значение и стандартное отклонение. В рамках этого подхода аномальными считаются значения, отклоняющиеся от характерного уровня. Однако временные ряды цен

финансовых инструментов, как правило, содержат выраженные трендовые и сезонные компоненты, что приводит к снижению точности выявления аномалий при использовании статистических методов, поскольку нормальные изменения временного ряда, например из-за сезонности, могут ошибочно классифицироваться как аномальные [2].

Высокую эффективность выявления аномалий показывают методы машинного обучения позволяют учитывать сложные закономерности изменения данных и выявлять отклонения на основе анализа их структуры. Однако применение таких методов требует наличия обучающих выборок и настройки параметров модели, что неизбежно повлечет за собой повышение вычислительной сложности.

В последние годы развитием методов машинного обучения служат нейросетевые подходы, включая рекуррентные нейронные сети (LSTM), автоэнкодеры и другие архитектуры, применяемые для анализа временных рядов. Они позволяют учитывать сложные нелинейные зависимости и долгосрочные взаимосвязи, однако характеризуются высокой вычислительной сложностью и требуют значительных объёмов обучающих данных, что ограничивает их применение в задачах мониторинга в режиме реального времени.

В отличие от методов машинного обучения, подходы, основанные на анализе структуры временного ряда, предполагают предварительное выделение его составляющих компонент. Декомпозиция временного ряда позволяет разделить долгосрочную тенденцию, сезонные колебания и случайные отклонения. Такого рода подход обеспечивает более корректную интерпретацию отклонений, поскольку анализ аномалий осуществляется не по исходному ряду, а по остаточной компоненте, очищенной от регулярных изменений [3].

Анализ методов выявления аномалий во временных рядах, показал, что применение декомпозиции временного ряда позволяет учитывать его структуру при анализе отклонений. В этой связи наиболее доступной и вариативной можно считать архитектуру системы выявления аномалий, основанную на предварительном выполнении STL-декомпозиции и последующем анализе остаточной компоненты в режиме скользящего окна, что обеспечивает применимость метода в условиях реального времени.

Перспективным направлением выявления аномалий в данных можно считать архитектуру на основе анализа остаточной компоненты временного ряда. Входными данными для нее являются временные ряды стоимости ценных бумаг, представляющие собой последовательность значений, упорядоченных по времени. В ней на первом этапе выполняется получение и подготовка временного ряда для дальнейшего анализа, включающая формирование нормализованных последовательностей значений, пригодной для выполнения декомпозиции временного ряда [2].

На втором этапе выполняется STL-декомпозиция исходного временного ряда: $Y_t = T_t + S_t + R_t$, где T_t - трендовая компонента; S_t - сезонная компонента; R_t – остаточная компонента. Трендовая компонента T_t отражает долгосрочную

тенденцию изменения значений, сезонная St – периодические колебания, а остаточная Rt характеризует отклонения от ожидаемого поведения. Использование декомпозиции позволяет исключать влияние трендовых и сезонных изменений, а также выполнять анализ отклонений, не связанных с общей динамикой данных. После выполнения декомпозиции выполняется анализ остаточной компоненты временного ряда, отражающей отклонения от характерной структуры данных. Анализ этих отклонений позволяет выявить значения, не соответствующие типичной динамике.

Выявление аномалий выполняется на основе анализа отклонения значений остаточной компоненты. Для оценки его степени используется нормализованное отклонение (2), позволяющее определить степень отклонения текущего значения от характерного уровня: $Z_t = (R_t - \mu) / \sigma$, где Z_t - нормализованное отклонение остаточной компоненты; R_t - значение остаточной компоненты временного ряда; μ - среднее значение остаточной компоненты; σ - стандартное отклонение. Среднее значение μ и стандартное отклонение σ вычисляются по остаточной компоненте временного ряда. В режиме мониторинга параметры μ и σ вычисляются по скользящему окну длиной N , что исключает использование будущих значений и обеспечивает возможность использования в реальном времени [3]. Применение Z_t позволяет выявлять аномальные значения, существенно отличающиеся от типичного поведения временного ряда. Значения, превышающие установленный порог рассматриваются как аномальные.

В результате проведенного исследования был выполнен анализ эффективности методов выявления аномалий в данных на рынке ценных бумаг, который дал основание считать наиболее предпочтительным метод, основанный на STL-декомпозиции временного ряда, так как он менее затратен по вычислительным ресурсам по сравнению с методами машинного обучения, но при этом более точен по сравнению с классическими статистическими подходами. Это делает STL-декомпозицию предпочтительным вариантом разведочного анализа данных в системах поддержки принятия решений на финансовых рынках.

Литература

- [1]. Puchkov, A.Yu & Minin, V.S. (2025). Выявление аномалий в финансовых временных рядах на основе многомасштабного автокодировщика. 129-140. 10.15622/rcai.2025.076.
- [2]. Котенко И. В., Саенко И. Б. Методы обнаружения аномалий в потоках данных [Электронный ресурс] – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49803813> (дата обращения: 27.02.2026).
- [3]. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. Anomaly Detection: A Survey [Электронный ресурс] – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1541880.1541882> (дата обращения: 26.02.2026).

ЦИФРОВАЯ СРЕДА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «СТУДЕНТ– ПРЕПОДАВАТЕЛЬ»: ТРЕБОВАНИЯ, ФУНКЦИОНАЛ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

Процессы цифровой трансформации в СФ МЭИ, как в ведущем техническом вузе региона, требуют постоянного совершенствования механизмов взаимодействия между участниками образовательного процесса [1]. Специфика инженерного образования подразумевает интенсивный обмен сложным графическим и расчетным контентом, что накладывает особые требования к ИТ-инфраструктуре. В данной работе рассматриваются пути преодоления фрагментарности цифровых сервисов и создания единого коммуникационного контура, отвечающего современным вызовам информационной безопасности и образовательным стандартам.

На сегодняшний день в СФ МЭИ, как и во многих крупных технических вузах, наблюдается избыточное разнообразие каналов связи. Студенты и преподаватели вынуждены маневрировать между официальной системой, корпоративной почтой и внешними мессенджерами. Подобное разнообразие ИТ-решений приводит к ряду деструктивных факторов:

- рассинхронизация данных. Информация о расписании, дедлайнах и текущей успеваемости может дублироваться или искажаться при передаче через неформальные каналы;

- сложность контроля в инженерных дисциплинах. При проверке курсовых работ по электроэнергетике или информационным технологиям важно сохранять историю правок и версию файлов, что практически невозможно в условиях разрозненных сервисов [2];

- безопасность интеллектуальной собственности. Использование зарубежных платформ для передачи уникальных инженерных разработок и учебных пособий создает риски утечки данных.

Анализ предметной области позволил выделить ключевые функциональные модули платформы (табл. 1). Личный кабинет осуществляет аутентификацию пользователей и настройку индивидуального интерфейса. Модуль учебных материалов предназначен для загрузки, хранения и организации доступа с учётом прав доступа. Модуль обратной связи включает такие инструменты как: чат, комментарии к работам и систему оценки заданий. Система уведомлений автоматизирует информирование пользователей о дедлайнах и других событиях.

Таблица 1. Функциональные модули цифровой платформы

Модуль	Функции
Личный кабинет	Авторизация, профиль, настройки уведомлений
Уведомления	Email, push, внутривыплатформенные сообщения

Продолжение таблицы 1. Функциональные модули цифровой платформы

Учебные материалы	Загрузка, хранение, доступ по правам
Обратная связь	Чат, комментарии, оценка работ

Подготовленные данные и функциональные модули интегрируются в единую архитектуру платформы, в рамках которой формируется логически согласованная структура взаимодействия [3]. Использование модульной структуры позволяет стандартизировать взаимодействие компонентов системы и обеспечить возможность независимого развития отдельных функций.

Разработка подобной экосистемы предполагает интеграцию всех ключевых функций, без которых невозможно функционирование современного учебного процесса. Для достижения высокой эффективности программный продукт должен обладать интуитивно понятным интерфейсом, обеспечивать гарантированную сохранность данных и иметь потенциал для масштабируемости в условиях роста нагрузок. С инженерной точки зрения наиболее рациональным решением для СФ МЭИ видится веб-платформа с открытым API [4]. Это позволит интегрировать в единую среду специфические расчетные модули (Mathcad, Matlab и др.), необходимые для подготовки инженеров. Модуль коммуникации должен быть разделен на официальный (уведомления от деканата) и учебный (чаты по конкретным дисциплинам с преподавателями кафедр). Это обеспечивает полную универсальность доступа: работа возможна через любой современный браузер на мобильных или стационарных устройствах без инсталляции сторонних утилит.

Важным аспектом является внедрение элементов предиктивной аналитики. Анализируя активность студента в цифровой среде, система может сигнализировать кураторам групп о возникновении задолженностей на ранних этапах, что критически важно для сложных технических специальностей [5].

Приоритетное внимание уделено эргономики интерфейса. Навигационная структура платформы спроектирована так, что доступ к любому материалу осуществляется максимум за два клика. Загрузка файлов реализован через drag-and-drop интерфейс. Система оповещений предусматривает гибкую конфигурацию. Характерная черта платформы – графическое отображение образовательного прогресса. Обучающийся получает не перечень заданий, а визуальную схему: завершённые работы маркируются зелёным, просроченные – красным, активные – жёлтым.

Консолидация всех файловых хранилищ и чатов в одной платформе решает проблему «информационного шума». Единые сценарии взаимодействия исключают путаницу с форматами документов и методами оценки. Централизованная база данных гарантирует, что любая информация будет надежно защищена от случайного удаления или изменения [3].

Практическая ценность разработки определяется прогнозируемыми эффектами после интеграции платформы в образовательную деятельность СФ МЭИ: уменьшение временных затрат на организацию взаимодействия «обучающийся-преподаватель» на 40%, сокращение утрат учебных работ на

90%, подъём удовлетворённости участников образовательного процесса цифровыми решениями.

Формирование единой цифровой среды в СФ МЭИ позволит не только оптимизировать временные затраты преподавателей на администрирование, но и автоматизировать рутинные процессы (сбор заданий, фиксирование времени загрузки, рассылка уведомлений), тем самым повысить качество подготовки будущих энергетиков и ИТ-специалистов. Интегрированный подход к функционалу и безопасности станет фундаментом для создания современного «цифрового университета», способного быстро адаптироваться к изменениям в образовательных технологиях [5].

Литература

- [1]. Григорьев С.Г., Гриншкун В.В. Информационные технологии в образовании: учебное пособие. – М.: Академия, 2020. – 288 с.
- [2]. Таненбаум Э., Ван Стеен М. Распределённые системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2003. – 877 с.
- [3]. Кимбалл Р., Росс М. Хранилища данных. Полное руководство. – М.: Вильямс, 2013. – 768 с.
- [4]. Флэнаган Д. JavaScript. Подробное руководство. – 7-е изд. – СПб.: Символ-Плюс, 2021. – 704 с.
- [5]. Андреев А.А., Солдаткин В.И. Дистанционное обучение: сущность, технология, организация. – М.: МЭСИ, 2019. – 352 с.

*М.С. Прусов, студ.; рук. С.А. Федулова, ст. преподаватель
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИИ

Современный этап развития информационных технологий характеризуется стремительным внедрением технологий искусственного интеллекта во многие области деятельности. Особенно заметно влияние данных технологий в сфере программирования и разработки веб-приложений. Технологии искусственного интеллекта активно применяются для автоматизации различных этапов разработки программного обеспечения: от генерации программного кода до тестирования и оптимизации веб-сервисов.

В последние годы наблюдается тенденция постепенной интеграции инструментов технологий искусственного интеллекта в рабочие сферы программистов. Такие системы способны анализировать большие объёмы данных, генерировать фрагменты программного кода, находить ошибки и предлагать решения по оптимизации программных продуктов. В связи с этим возникает вопрос о возможной замене части человеческого труда автоматизированными системами. Многие компании уже используют технологии искусственного интеллекта для ускорения разработки программного обеспечения, что приводит к сокращению времени выполнения проектов и снижению затрат на разработку.

Согласно исследованиям, применение технологий искусственного интеллекта в разработке программного обеспечения позволяет повысить эффективность процессов программирования, ускорить тестирование и

улучшить качество конечного программного продукта [1]. Становится возможной автоматизация большего количества рутинных задач, которые ранее выполнялись исключительно программистами.

Несмотря на активное развитие технологий искусственного интеллекта, вопрос о полной замене программистов остается открытым. Автоматизированные системы значительно упрощают и ускоряют процессы разработки, но они не способны полностью заменить человека в задачах, требующих творческого мышления, глубокого понимания архитектуры программных систем и принятия стратегических решений. Как отмечают исследователи, современные системы искусственного интеллекта чаще выступают в роли помощников разработчиков, а не полноценной замены специалистов в области программирования [2].

Актуальность данной темы обусловлена быстрым развитием технологий искусственного интеллекта и их всё более широким применением в сфере веб-разработки.

Целью данной статьи является анализ возможностей применения технологий искусственного интеллекта в веб-программировании, а также рассмотреть преимущества и недостатки его использования. Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

1. Рассмотреть основные направления применения технологий искусственного интеллекта в веб-программировании;
2. Проанализировать преимущества использования технологий искусственного интеллекта в разработке веб-приложений;
3. Определить недостатки и ограничения применения технологий искусственного интеллекта.

Основными методами исследования являлись теоретический анализ и синтез данных специальной литературы.

Одним из основных направлений применения технологий искусственного интеллекта в веб-программировании является генерация программного кода. Современные автоматизированные системы способны создавать фрагменты программ самостоятельно, анализировать синтаксис различных языков программирования и предлагать оптимальные решения для выполнения поставленных задач, что позволяет значительно сократить время разработки программного продукта и уменьшить количество ошибок в программном коде.

Помимо генерации кода, технологии искусственного интеллекта активно используются в процессе тестирования веб-приложений. Системы, реализованные на основе метода машинного обучения, способны автоматически выявлять ошибки, анализировать производительность веб-сайтов и предлагать рекомендации по их оптимизации. В итоге, повышается надежность программных продуктов и сокращается время, необходимое для их тестирования.

Кроме преимуществ, применение технологий искусственного интеллекта в программировании имеет недостатки. Стоит учитывать, что технологии искусственного интеллекта могут выдавать уверенные, но неправильные ответы.

Это происходит из-за «галлюцинаций» технологии искусственного интеллекта. Перед применением сгенерированного кода, следует проверить его на наличие ошибок. Несмотря на высокую скорость генерации программных решений, такие системы не всегда учитывают все особенности конкретного проекта и могут предлагать решения, требующие дополнительной проверки со стороны разработчиков.

Также, использование технологий искусственного интеллекта может привести к чрезмерной зависимости разработчиков от автоматизированных инструментов. В этой ситуации, существует риск снижения профессиональных навыков программистов, так как часть задач будет выполняться автоматически. Также стоит учитывать правовые и этические вопросы, связанные с использованием технологий искусственного интеллекта, включая авторство программного кода и ответственность за возможные ошибки, созданные автоматизированными системами [3].

Технологии искусственного интеллекта также используются при создании веб-приложений. Современные инструменты позволяют автоматически генерировать элементы пользовательского интерфейса на основе описания требований пользователя. Данный подход позволяет ускорить процесс разработки и необходимое для создания прототипов веб-сайтов и приложений время. Не стоит исключать, что окончательная доработка интерфейсов всё равно требует участия человека, так как разработчик должен учитывать особенности дизайна, требования заказчика, удобство взаимодействия пользователя с системой и специфику конкретного проекта.

Существуют области, в которых технологии искусственного интеллекта пока не способны заменить человека. К таким областям относятся:

1. Проектирование архитектуры сложных программных систем;
2. Разработка уникальных алгоритмов;
3. Принятие стратегических решений;
4. Создание инновационных технологических решений.

Данные задачи требуют творческого подхода и аналитическое мышление.

Так, литературный обзор показал, что, несмотря на развитие интеллектуальных инструментов программирования, разработчики не всегда применяют автоматически предложенный код, он может не учитывать функциональные или нефункциональные требования конкретного проекта [4]. Это подтверждает, что технологии искусственного интеллекта не способны полностью заменить разработчика.

Технологии и методы искусственного интеллекта являются важными инструментами, способными значительно повысить эффективность веб-разработки. Их использование следует рассматривать, как средство поддержки программистов, а не как полную замену человеческого труда. Наиболее правильной моделью является совместная работа разработчиков и интеллектуальных систем, при которой технологии искусственного интеллекта выполняют рутинные операции, а человек занимается решением сложных и творческих задач. Технологии искусственного интеллекта следует использовать

как поисковую систему, а не инструмент, решающий все задачи за разработчиков.

Литература

- [1]. Куркова Д.А. Влияние искусственного интеллекта на развитие программирования. Наука и образование ONLINE. –2024 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: https://eee-science.ru/wp-content/uploads/2024/02/Искусственный-интеллект-в-программировании_-Куркова-Диана.pdf
- [2]. Грызлов Д.В. Использование искусственного интеллекта в программировании. Научный журнал NA-Journal –2024 [Электронный ресурс] [сайт]. – URL: <https://na-journal.ru/8-2024-informacionnye-tehnologii/14638-ispolzovanie-iskusstvennogo-intellekta-v-programmirovanii>
- [3]. Сазонов А.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИИ В ПРОГРАММИРОВАНИИ. //Universum: технические науки : электрон. науч. журн. 2024. 3(120). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-ii-v-programmirovanii/viewer>
- [4]. Бевзенко, С. А. Исследование методов автоматического программирования с применением искусственного интеллекта / С. А. Бевзенко. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2024. – № 11 (510). – С. 13-15. – URL: <https://moluch.ru/archive/510/112069>.

*П.А. Радионова, студ.; рук. Я.А. Федулов, к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ УЧЕТНЫХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Современный этап развития информационного общества характеризуется проникновением автоматизированных информационных систем (АИС) во все сферы деятельности – от крупных корпораций до малого бизнеса. С ростом объема обрабатываемых и хранимых данных критически возрастает и важность их надежной защиты. Особую ценность среди всего многообразия информации представляют учетные данные пользователей: пароли, персональная информация, ключи шифрования. Компрометация этих данных может привести к серьезным последствиям – от прямых финансовых потерь до нарушения законодательства о защите персональных данных и утраты доверия клиентов [1].

Актуальность темы исследования методов обеспечения безопасности хранения учетных данных обусловлена несколькими факторами. Прежде всего, это законодательные требования. Федеральный закон №152-ФЗ «О персональных данных» обязывает операторов обеспечивать защиту персональных данных при их обработке, при этом паспортные данные, СНИЛС, ИНН относятся к специальной категории и требуют криптографической защиты [1]. Нарушение этих требований влечет за собой не только административную, но и уголовную ответственность. Кроме того, анализ современного ландшафта киберугроз демонстрирует неуклонный рост и эволюцию атак. Согласно актуальным данным Positive Technologies, в 2025 году почти две трети (64%) успешных кибератак на организации заканчивались утечкой конфиденциальной информации. При этом ключевыми типами похищаемых данных стали учетные записи (19%) и персональные данные пользователей (18%) [2]. Немаловажным фактором являются и особенности малого бизнеса: предприятия этого сектора

часто не имеют в штате выделенных специалистов по информационной безопасности, что порождает потребность в самодостаточных программных решениях со встроенными, но при этом прозрачными для пользователя механизмами защиты, не требующими сложного администрирования.

Учетные данные представляют собой необходимую для аутентификации и идентификации совокупность сведений о пользователях, хранимую в компьютерных службах. Перечень такой информации может варьироваться в зависимости от конкретной системы и решаемых ею задач. В зависимости от функционального назначения можно выделить следующие категории учетных данных:

- аутентификационные данные (логины, пароли, PIN-коды);
- персональные данные, подлежащие особой защите согласно федеральному законодательству [1].
- криптографические ключи (ключи шифрования, сертификаты электронной подписи);
- восстановительная информация (ответы на контрольные вопросы, резервные коды доступа).

Каждая из перечисленных категорий предъявляет различные требования к методам защиты: пароли требуют необратимого хэширования (даже при утечке базы данных восстановить исходный пароль невозможно), персональные данные – обратимого шифрования для отображения в интерфейсе, а восстановление доступа – криптографического подтверждения подлинности запроса. Предполагается, что требуемый уровень безопасности хранения учетных данных в условиях малого бизнеса может быть достигнут путем комбинирования указанных криптографических подходов.

Современная криптография предлагает обширный арсенал средств для защиты этих категорий данных. Все методы криптографической защиты можно разделить на три основные категории [3]. Хэширование представляет собой необратимое преобразование данных произвольной длины в строку фиксированной длины (хэш). Эта операция является односторонней: восстановить исходные данные по хэшу невозможно. Именно поэтому хэширование идеально подходит для хранения паролей: система хранит не сам пароль, а его хэш, и при попытке входа сравнивает хэш введенного пароля с сохраненным. Симметричное шифрование – это обратимое преобразование данных с использованием одного и того же ключа как для шифрования, так и для расшифровки. Оно применяется для защиты персональных данных, которые необходимо периодически расшифровывать для отображения в интерфейсе системы. Асимметричное шифрование использует пару ключей: открытый (публичный) для шифрования и закрытый (приватный) для расшифровки. Этот метод лежит в основе цифровой подписи, позволяющей подтвердить подлинность и целостность данных, а также используется для безопасного обмена ключами в незащищенных каналах связи [3].

В области хэширования паролей исторически широкое распространение получили алгоритмы MD5, SHA и BCrypt. MD5, разработанный еще в 1991 году,

генерирует 128-битный хэш, однако в настоящее время он считается безнадежно устаревшим из-за доказанной уязвимости к коллизиям. Семейство алгоритмов SHA (Secure Hash Algorithm), включая широко распространенные SHA-256 и SHA-512, представляет собой набор надежных криптографических хэш-функций. Они устойчивы к коллизиям и широко применяются в различных протоколах безопасности. Однако у них есть важный недостаток при использовании для хранения паролей: они разработаны для высокой скорости вычислений и не содержат механизма «соли». Это делает хэши, созданные с помощью SHA, уязвимыми для атак с использованием радужных таблиц (заранее просчитанных таблиц соответствия паролей и их хэшей), если «соль» не добавляется разработчиком дополнительно. Алгоритм BCrypt, напротив, был спроектирован специально для хэширования паролей [4]. Он является адаптивной функцией: он включает в себя встроенный механизм генерации и добавления «соли», а также ключевой параметр – стоимость (cost factor) или рабочий фактор (work factor). Этот параметр определяет, сколько итераций хэширования будет выполнено, что позволяет экспоненциально увеличивать время вычисления хэша по мере роста вычислительной мощности компьютеров.

Для симметричного шифрования данных в операционных системах семейства Windows часто рассматриваются два основных подхода: использование встроенного механизма DPAPI и реализация шифрования с помощью стандарта AES. DPAPI (Data Protection API) – это встроенный компонент Windows, который берет на себя все сложности управления ключами [5]. Разработчику не нужно генерировать, хранить и защищать ключи шифрования; система делает это автоматически, привязывая их к учетной записи пользователя или конкретному компьютеру. Это удобно, но порождает главный недостаток DPAPI – полную непереносимость зашифрованных данных. Базу данных, зашифрованную DPAPI на одном компьютере, невозможно будет расшифровать на другом, что критично для многих бизнес-приложений, где возможен перенос данных при смене или модернизации сервера. AES (Advanced Encryption Standard) является промышленным стандартом симметричного шифрования [6]. Он поддерживает ключи длиной 128, 192 и 256 бит, обеспечивая высокую криптостойкость и производительность как при программной, так и при аппаратной реализации. Главное отличие от DPAPI – это кроссплатформенность и необходимость самостоятельного управления ключами шифрования, что дает разработчику полный контроль над процессом и гарантирует переносимость зашифрованных данных между различными системами.

Для выбора оптимального метода защиты был проведен их сравнительный анализ в таблице 1 по ряду ключевых критериев, значимых с точки зрения безопасности и практического применения.

Таблица 1. Сравнительный анализ методов хэширования паролей

Критерий	MD5	SHA-256	BCrypt
Длина хэша	128 бит	256 бит	192 бит
Адаптивная сложность	-	-	+
Устойчивость к коллизиям	Низкая	Высокая	Высокая
Устойчивость к брутфорсу	Низкая	Средняя	Высокая
Скорость вычисления	Очень быстро	Быстро	Медленно

Анализ методов симметричного шифрования показывает, что выбор между DPAPI и AES должен диктоваться конкретными требованиями к разрабатываемой системе, в первую очередь – к переносимости данных и необходимости кроссплатформенной поддержки. Детальное сравнение представлено в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительный анализ методов симметричного шифрования

Критерий	DPAPI	AES
Привязка к компьютеру/пользователю	+	-
Переносимость базы данных	-	+
Необходимость управления ключами	-	+
Криптостойкость	Высокая	Высокая
Кроссплатформенность	-	+

Для реализации процедуры восстановления доступа при утрате пароля применяются различные методы. Традиционным и простым в реализации подходом являются контрольные вопросы. Ответы на них, как и пароли, должны храниться в базе данных в виде хэша, чтобы даже при утечке базы данных злоумышленник не мог их узнать. Однако у этого метода есть существенный недостаток: ответы часто бывают легко угадываемыми или могут быть получены методами социальной инженерии. Более надежным, но и более сложным в реализации методом является использование асимметричного шифрования на базе алгоритма RSA [3]. При запросе на восстановление система может создать специальный токен, подписать его закрытым ключом сервера и отправить пользователю. Пользователь, в свою очередь, предъявляет этот токен системе,

которая проверяет подпись с помощью открытого ключа. Применение аппаратных RSA-ключей (токенов) позволяет добиться максимальной криптостойкости, так как закрытый ключ физически не покидает носитель и не может быть скопирован.

Выдвинутая в начале работы гипотеза о необходимости комбинирования различных криптографических методов для обеспечения безопасности учетных данных в автоматизированных информационных системах малого бизнеса получила подтверждение в ходе проведенного анализа. Каждый метод криптографической защиты служит для своей цели и использование лишь одного метода не создаст должного уровня защиты всех видов конфиденциальных данных, рассмотренных выше.

Сравнение методов хэширования паролей (таблица 1) показало, что алгоритм BCrypt, в отличие от MD5 и SHA-256, обеспечивает встроенную «соль» и адаптивную сложность, что делает его единственным пригодным для безопасного хранения паролей. По результатам анализа определен следующий параметр реализации: BCrypt (например, библиотека bcrypt в Python или BCrypt.Net в C#). MD5 признан непригодным из-за доказанной уязвимости к коллизиям, а SHA-256 требует ручного добавления «соли», что повышает риск ошибки разработчика и не рекомендуется для малого бизнеса без выделенного специалиста по информационной безопасности.

Анализ методов симметричного шифрования (таблица 2) выявил, что встроенный механизм DPAPI операционной системы Windows создает неприемлемую привязку зашифрованных данных к конкретному компьютеру, исключаящую возможность переноса базы данных между серверами. В качестве оптимального решения для систем, допускающих миграцию данных, обосновано использование стандарта AES-256 (например, библиотека pycryptodome), обеспечивающего как криптостойкость, так и переносимость. При работе на строго одном сервере без миграции данных допустимо применение встроенного DPAPI Windows как более простого в реализации.

Сравнение методов восстановления доступа подтвердило, что ни контрольные вопросы (уязвимые к социальной инженерии), ни чистое RSA-шифрование (требующее аппаратных токенов и непригодное для оперативного восстановления) по отдельности не покрывают всех сценариев утраты пароля. Предложенная гибридная схема (контрольные вопросы для типовых ситуаций с обязательным хэшированием ответов и RSA для критических операций) позволяет сочетать удобство оперативного восстановления с высоким уровнем криптографической защиты.

Таким образом, предложенный комплекс методов (BCrypt, AES-256, гибридное восстановление на базе RSA и контрольных вопросов) полностью соответствует критериям, заложенным в гипотезе, обеспечивает трехуровневую защиту учетных данных на современном уровне и может быть непосредственно реализован в автоматизированных информационных системах малого бизнеса, не имеющих в штате выделенного специалиста по информационной безопасности.

Литература

- [1]. Российская Федерация. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 06.02.2023). – URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 27.02.2026).
- [2]. Беседина В., Осипова А. Ландшафт киберугроз в 2025-м в России и мире // Хабр. – 2026. – 26 января. – URL: <https://habr.com/ru/companies/pt/articles/988872/> (дата обращения: 11.03.2026).
- [3]. Rivest R., Shamir A., Adleman L. A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems // Communications of the ACM. – 1978. – Vol. 21, No. 2. – P. 120-126.
- [4]. Provos N., Mazières D. A Future-Adaptable Password Scheme // USENIX Annual Technical Conference. – 1999. – URL: <https://www.usenix.org/legacy/events/usenix99/provos/provos.pdf> (дата обращения: 27.02.2026).
- [5]. Microsoft Corporation. Data Protection API (DPAPI): документация Microsoft. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/seccng/cng-dpapi> (дата обращения: 27.02.2026).
- [6]. National Institute of Standards and Technology. Advanced Encryption Standard (AES): Federal Information Processing Standards Publication 197-upd1. – 2001 (updated May 9, 2023). – URL: <https://doi.org/10.6028/NIST.FIPS.197-upd1> (дата обращения: 27.02.2026).

*Г.С. Родяхин, студ.; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ОТ РАСПРОСТРАНЕННЫХ УЯЗВИМОСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ SQL-ИНЪЕКЦИЙ И XSS-АТАК)

В современном цифровом пространстве веб-приложения стали неотъемлемой частью бизнеса и повседневной жизни, что делает их привлекательной целью для злоумышленников. С каждым годом количество веб-приложений неуклонно растет, они проникают во все сферы деятельности – от интернет-банкинга и государственных услуг до социальных сетей и интернет-магазинов. Вместе с этим растет и число кибератак, направленных на кражу данных, нарушение работоспособности сервисов или несанкционированное выполнение операций.

SQL-инъекция (SQL Injection) – это один из самых старых, но по-прежнему эффективных способов атаки на веб-приложения, работающие с базами данных. Суть атаки заключается во внедрении в запрос к базе данных произвольного SQL-кода, который изменяет логику выполнения исходного запроса [1]. Уязвимость возникает там, где приложение формирует SQL-запрос путем простой конкатенации строк, используя данные, введенные пользователем, без их предварительной проверки и обработки. Рассмотрим классический пример авторизации. Допустим, на сервере выполняется код, который подставляет введенные пользователем логин и пароль напрямую в строку запроса. Разработчик ожидает, что пользователь введет в поля логин и пароль обычные строки. Однако злоумышленник может ввести в поле логина значение `admin' --`. Тогда результирующий запрос примет вид `SELECT * FROM users WHERE login = 'admin' -- ' AND password = 'неважно'`. Символы `--` в SQL обозначают начало комментария, поэтому все, что идет после них, игнорируется, и запрос превращается в проверку существования пользователя `admin` без какого-либо требования пароля. Если пользователь `admin` существует, злоумышленник получит доступ к системе. Более разрушительными являются инъекции, позволяющие не только обойти аутентификацию, но и модифицировать или

удалять данные. Например, введя в поле ввода `' ; DROP TABLE users; --`, можно полностью уничтожить таблицу пользователей.

Принято выделять несколько основных типов SQL-инъекций. Классические (In-band) позволяют злоумышленнику получать результат атаки по тому же каналу, что и выполнял запрос – например, данные выводятся прямо на веб-страницу. Слепые (Blind) используются, когда результат запроса не виден на странице, и злоумышленник анализирует косвенные признаки – разницу в поведении приложения, такую как время ответа или структура ответа при истинном и ложном условии, чтобы извлечь данные. Выходящие за пределы (Out-of-band) применяются, когда атакующий использует другой канал для получения данных, например, заставляет базу данных отправить DNS-запрос на свой сервер. Успешная реализация SQL-инъекции может привести к краже конфиденциальных данных пользователей, включая логины, пароли, персональные данные и платежную информацию, полной компрометации сервера базы данных, уничтожению или повреждению данных, получению несанкционированного доступа к административным функциям приложения, а также использованию сервера в качестве плацдарма для атак на другие системы.

XSS (Cross-Site Scripting) – это тип атаки, направленный не на сервер, а на клиентов веб-приложения. Суть XSS заключается во внедрении в генерируемую сервером веб-страницу вредоносного кода, обычно JavaScript, который выполняется в браузере жертвы от имени атакованного сайта. Уязвимость возникает, когда веб-приложение принимает данные от пользователя и выводит их на страницу без должной обработки, то есть без экранирования. Представим себе страницу поиска на сайте, которая отображает введенный пользователем запрос. Если серверный код просто подставляет значение из параметра запроса в вывод, то злоумышленник может создать ссылку вида `http://example.com/search?query=<script>alert('XSS');</script>` и убедить пользователя перейти по ней. Сервер вставит этот скрипт в страницу, и браузер пользователя его выполнит. Вместо безобидного alert злоумышленник может вставить код, крадущий куки, перенаправляющий на фишинговый сайт или выполняющий действия от имени пользователя.

В зависимости от способа доставки и хранения вредоносного кода различают три основных типа XSS-атак. Отраженные (Reflected XSS) характеризуются тем, что вредоносный код не хранится на сервере, а отражается от него в ответе на специально сформированный запрос, и для доставки атаки требуется социальная инженерия – пользователя нужно заставить перейти по ссылке. Хранимые (Stored XSS) являются наиболее опасным типом, при котором злоумышленник размещает вредоносный код непосредственно на сервере, например, в комментарии к посту, в сообщении на форуме или в профиле пользователя, и при каждом просмотре страницы с этим комментарием скрипт будет выполняться в браузерах всех посетителей. XSS на основе DOM (DOM-based XSS) отличается тем, что уязвимость находится не в серверном коде, а в клиентском JavaScript-коде, который динамически изменяет структуру страницы, используя данные из URL или других источников без проверки их

безопасности. Успешная XSS-атака позволяет злоумышленнику похитить куки и захватить учетную запись пользователя, перехватывать данные, вводимые пользователем в формы на странице, выполнять действия от имени пользователя, перенаправлять пользователя на вредоносные или фишинговые сайты, а также проводить дефейс сайта.

Для эффективного противодействия описанным угрозам необходим комплексный подход, сочетающий правильные практики разработки, использование защитных механизмов на уровне инфраструктуры и регулярное тестирование безопасности. Основной принцип защиты от SQL-инъекций – никогда не доверять данным, полученным от пользователя, все входные данные должны рассматриваться как потенциально опасные. Наиболее эффективным и рекомендуемым методом является использование параметризованных запросов или подготовленных выражений (Prepared Statements). Идея заключается в разделении структуры SQL-запроса и пользовательских данных: запрос сначала отправляется в СУБД на компиляцию, а уже потом в него подставляются параметры, которые трактуются исключительно как данные, а не как исполняемый код. Например, при использовании PHP с расширением PDO код выглядит следующим образом: `$stmt = $pdo->prepare("SELECT * FROM users WHERE login = :login AND password = :password"); $stmt->execute(['login' => $username, 'password' => $password]);` Даже если злоумышленник попытается передать SQL-код в параметре, он будет воспринят как обычная строка. Вторым эффективным методом является использование объектно-реляционного отображения (ORM). Современные ORM-фреймворки, такие как Entity Framework для .NET, Hibernate для Java или Django ORM для Python, по умолчанию используют параметризованные запросы или экранирование, значительно снижая риск случайного внесения уязвимости разработчиком [2]. Если по каким-то причинам использование параметризованных запросов невозможно, необходимо применять экранирование специальных символов, обрабатывая кавычки и обратные слешы во входных данных, однако этот метод менее надежен. Важным дополнением является валидация входных данных, то есть проверка соответствия входных данных ожидаемому типу и формату, что позволяет отсеять большую часть очевидных атак. Также следует применять минимизацию привилегий: учетная запись, от которой приложение подключается к базе данных, должна иметь минимально необходимые права, и не следует подключаться к БД от имени суперпользователя.

Защита от XSS-атак основывается на принципе "никогда не доверяй выводу": любые данные, полученные от пользователя, перед выводом на страницу должны быть обработаны так, чтобы они не могли интерпретироваться браузером как код. Главным методом защиты является экранирование вывода (Output Encoding), при котором специальные символы HTML, такие как `<`, `>`, `&`, `"` и `'`, заменяются на соответствующие HTML-сущности, например `<`, `>`, `&`, `"` и `'`. В результате, если злоумышленник попытается внедрить `<script>`, браузер отобразит это как текст, а не выполнит его. Большинство современных шаблонизаторов, включая Twig, Jinja2 и Blade, делают это автоматически, если

разработчик специально не отключит эту функцию. Важно применять контекстно-зависимое экранирование, то есть обрабатывать данные в зависимости от того, в каком контексте HTML они выводятся: внутри обычного текста, внутри атрибута тега, внутри JavaScript-кода или внутри CSS, так как для каждого контекста используются свои правила. Мощным механизмом защиты на уровне HTTP-заголовков является Content Security Policy (CSP). Политика CSP позволяет указать браузеру, из каких источников можно загружать и выполнять скрипты, стили, изображения и другие ресурсы. Например, можно запретить выполнение любых инлайн-скриптов, разрешив только загрузку скриптов из доверенных источников, и даже если злоумышленнику удастся внедрить свой тег `<script>`, браузер, следуя CSP, заблокирует его выполнение. Дополнительной мерой является установка флага `HttpOnly` для cookies, который запрещает доступ к кукам через клиентский JavaScript-код, что не позволит злоумышленнику украсть сессионные куки даже при наличии XSS-уязвимости. В некоторых случаях, например при использовании WYSIWYG-редакторов, пользователю нужно разрешить ввод HTML-кода, и здесь применяется санация – пропуск введенного HTML через библиотеку-фильтр, которая удаляет все опасные теги и атрибуты, оставляя только безопасные [3].

Помимо написания безопасного кода, необходимо внедрять защитные меры на уровне инфраструктуры и процессов разработки. Регулярное тестирование на проникновение (Penetration Testing) предполагает периодический аудит приложения с использованием как автоматических сканеров, например OWASP ZAP, так и ручных методов. Использование Web Application Firewall (WAF) позволяет анализировать входящий трафик и блокировать подозрительные запросы, характерные для SQL-инъекций или XSS, до того, как они достигнут приложения, что является эффективным уровнем защиты, но не отменяет необходимости писать безопасный код. Важнейшей организационной мерой является обучение разработчиков, повышение их квалификации в области безопасной разработки, знакомство с актуальными угрозами и методами противодействия. Только сочетание технических и организационных мер позволяет создать надежную систему защиты веб-приложений.

Таким образом, SQL-инъекции и XSS-атаки, несмотря на свою долгую историю, остаются серьезной угрозой для современных веб-приложений. Причина их живучести кроется не в сложности реализации, а в человеческом факторе – ошибках разработчиков, пренебрегающих базовыми принципами безопасного программирования. Проведенный анализ показывает, что для эффективной защиты необходим комплексный подход. Основой защиты от SQL-инъекций является неукоснительное использование параметризованных запросов, а от XSS – контекстное экранирование вывода и применение Content Security Policy. Данные методы должны применяться на этапе написания кода и дополняться организационными мерами: использованием WAF, регулярным тестированием на проникновение и повышением квалификации разработчиков. Только сочетание технологических и организационных решений позволяет

свести риски, связанные с данными уязвимостями, к приемлемому минимуму и обеспечить должный уровень безопасности веб-приложения.

Литература

- [1]. Stuttard D., Pinto M. The Web Application Hacker's Handbook: Finding and Exploiting Security Flaws. – 2nd ed. – Indianapolis: Wiley Publishing, 2011. – 912 p.
- [2]. OWASP Foundation. OWASP Top 10:2021 [Электронный ресурс] // The Open Web Application Security Project. – 2021. – Режим доступа: <https://owasp.org/Top10/> (дата обращения: 11.03.2026).
- [3]. О применении Web Application Firewall для защиты веб-приложений [Электронный ресурс] // Positive Technologies. – 2023. – Режим доступа: <https://www.ptsecurity.com/ru-ru/research/> (дата обращения: 11.03.2026).

*Г.С. Родяхин, студ.; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ДООБУЧЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЦ

Современные системы распознавания лиц (Face Recognition, FR) строятся на основе глубоких нейронных сетей, однако выбор архитектуры для дообучения (fine-tuning) на целевых данных остается нетривиальной задачей. В работе проводится сравнительный анализ трех архитектур (ResNet-50, ResNet-100 и MobileNetV2) с точки зрения их применимости для дообучения под задачу верификации лиц.

Современные методы распознавания лиц, такие как ArcFace [1] или CosFace, используют глубокие нейронные сети для извлечения дискриминативных признаков. На практике разработчик часто сталкивается с необходимостью дообучить предобученную модель под специфическую доменную выборку. Однако выбор исходной архитектуры критически влияет на успех этого процесса. Цель данной работы – провести сравнительный анализ популярных архитектур сверточных нейронных сетей, оценив их пригодность для дообучения в задачах распознавания лиц по следующим критериям: требования к ресурсам, включая количество параметров и GFLOPs, определяющие скорость инференса и возможность работы на ограниченном оборудовании; качество извлеченных признаков, то есть способность архитектуры генерировать разделимые эмбединги на примере метрики на датасете LFW; чувствительность к дообучению, понимаемая как способность адаптироваться к новым данным без катастрофического забывания и переобучения; а также доступность предобученных весов именно для FR-задач, то есть наличие в открытых источниках весов, обученных на больших FR-датасетах, таких как MS1MV2 или Glint360K.

Для анализа были выбраны три архитектуры, наиболее часто используемые в современных FR-системах. ResNet-50, предложенная в 2015 году [2], стала своеобразным «золотым стандартом» индустрии благодаря балансу точности и скорости. Более глубокая версия ResNet-100 часто применяется в топовых

решениях, например в библиотеке InsightFace, для достижения максимальной точности. MobileNetV2 [3] представляет собой эволюционное развитие MobileNetV1 [4]: она использует линейные узкие места и инвертированные остаточные блоки, что делает её стандартом для мобильных и встраиваемых систем. В качестве отправной точки используются модели, предобученные на наборе данных MS1MV2 с функцией потерь ArcFace, что обеспечивает релевантность задаче распознавания лиц. Следует отметить, что выбор предобученных весов, полученных именно на крупномасштабных FR-датасетах, принципиально важен, поскольку веса, обученные на ImageNet для общей классификации объектов, хуже подходят для задач различения лиц из-за иной природы выделяемых признаков.

Для оценки ресурсоемкости ключевым показателем является количество операций с плавающей запятой (FLOPs), необходимое для обработки одного изображения размером 112×112 пикселей – стандартного входа для FR-моделей. Соответствующие данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Сравнение вычислительной сложности архитектур

Архитектура	Кол-во параметров (М)	GFLOPs (112x112)	Размер модели (МБ)	Точность на LFW (%)
MobileNetV2	2.5	0.15	~10	99.0–99.2
ResNet-50	24.5	1.3	~98	99.5–99.7
ResNet-100	65.0	3.5	~260	99.8+

Значения точности приведены для моделей, обученных с ArcFace на MS1MV2, и являются усредненными по открытым бенчмаркам. Из таблицы видно, что MobileNetV2 является безусловным лидером для встраиваемых систем: скорость инференса на центральном процессоре в 8–20 раз выше, чем у ResNet-50, при падении точности всего на 0,5–0,7 % на эталонном тесте LFW, что для большинства реальных задач контроля доступа оказывается вполне приемлемым. При этом малое количество параметров позволяет развертывать такие модели даже на микроконтроллерах и в устройствах с жесткими ограничениями по энергопотреблению. ResNet-50 требует умеренных ресурсов: на современном графическом процессоре, например NVIDIA T4, обработка батча изображений происходит в реальном времени, что делает эту архитектуру оптимальным выбором для серверных приложений. Благодаря умеренному объему видеопамяти, необходимому для обучения (порядка 4–6 Гбайт), данная модель доступна для использования на широком спектре графических ускорителей. ResNet-100 представляет собой «тяжелую артиллерию»: рост точности на сложных бенчмарках (IJB-C, MegaFace) по сравнению с ResNet-50 существенен, особенно в условиях сильных вариаций поз и освещения, однако достигается ценой двукратного увеличения числа операций и требований к

видеопамяти (более 8 Гбайт), что необходимо учитывать при планировании вычислительной инфраструктуры.

Основная задача дообучения заключается в адаптации общей FR-модели под специфическое доменное пространство, например, под особенности освещения и ракурсов, характерные для конкретного предприятия. Согласно анализу открытых источников и практических руководств по дообучению нейросетевых моделей, различные архитектуры демонстрируют неодинаковое поведение в процессе тонкой настройки. Что касается скорости сходимости, ResNet-50 и ResNet-100, благодаря остаточным связям, обеспечивающим эффективное прохождение градиентов в ранние слои, показывают стабильную сходимость; для их адаптации под новую доменную выборку достаточно пятидесяти эпох обучения при использовании низкой скорости обучения. MobileNetV2, в свою очередь, сходится быстрее по времени за счет меньшего объема вычислений, однако, как отмечается в технической документации и сообществе разработчиков, эта архитектура требует более тщательной настройки гиперпараметров и из-за меньшей емкости модели может нуждаться в большем количестве эпох для эффективного «запоминания» специфических черт узкой группы лиц. В отношении устойчивости к переобучению все три архитектуры демонстрируют низкую склонность к переобучению при дообучении, поскольку исходные веса, предобученные на больших датасетах, уже содержат сильные семантические признаки лиц. При этом в литературе отмечается, что при очень малом объеме данных (менее пяти изображений на человека) MobileNetV2 оказывается предпочтительнее именно благодаря малому числу параметров – модель не способна «выучить шум», в то время как более емкая ResNet-100 может начать подстраиваться под артефакты сжатия или фона.

Проведенный сравнительный анализ архитектур нейронных сетей для задач дообучения на распознавание лиц показал, что выбор конкретной модели напрямую зависит от условий ее использования и требований к вычислительным ресурсам. Архитектура VGG-16, несмотря на простоту и понятность, оказывается слишком требовательной к оборудованию и склонной к переобучению на небольших наборах данных, что ограничивает ее практическое применение в современных FR-системах. MobileNetV2, напротив, идеально подходит для мобильных устройств и встраиваемых систем благодаря малому количеству параметров и высокой скорости работы, однако ее упрощенная структура может незначительно снижать точность распознавания в сложных случаях, требующих различения близких по внешности людей. Наилучший баланс между точностью, вычислительными затратами и удобством дообучения демонстрирует архитектура ResNet-50. Благодаря остаточным связям она эффективно адаптируется к новым данным, не требуя при этом сверхмощного оборудования, и остается наиболее популярным выбором как в исследовательской среде, так и в практических разработках. Подтверждением этому служит ее широкое использование в современных FR-библиотеках и в качестве бэкбона в передовых методах распознавания лиц на основе угловых

функций потерь. Таким образом, для большинства типовых задач, связанных с дообучением моделей распознавания лиц, оптимальной архитектурой следует признать ResNet-50.

Литература

- [1]. Deng J., Guo J., Xue N., Zafeiriou S. ArcFace: Additive Angular Margin Loss for Deep Face Recognition // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2019. – P. 4685-4694.
- [2]. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2016. – P. 770-778.
- [3]. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L.C. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks // Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). – 2018. – P. 4510-4520.
- [4]. Howard A.G., Zhu M., Chen B., et al. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications // arXiv preprint arXiv:1704.04861. – 2017.

*Г.С. Родяхин, студ.; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ PYTHON (DJANGO VS FASTAPI)

В современной веб-разработке язык Python занимает прочные позиции благодаря своей простоте, читаемости кода и обширной экосистеме библиотек и инструментов. С каждым годом количество веб-приложений, создаваемых на Python, неуклонно растет, что обусловлено активным развитием фреймворков, упрощающих и ускоряющих процесс разработки. Среди множества веб-фреймворков особенно выделяются два принципиально разных подхода – монолитный и микрофреймворковый, яркими представителями которых являются Django и FastAPI. Django, появившийся в 2005 году, завоевал репутацию фреймворка "всё включено" (batteries included) для создания сложных, масштабируемых сайтов и корпоративных систем. FastAPI, созданный в 2018 году, представляет современный подход к разработке асинхронных API с упором на производительность, автоматическую документацию и использование новейших возможностей языка Python. Цель данной работы – провести сравнительный анализ этих двух фреймворков по ключевым критериям, чтобы помочь разработчикам сделать осознанный выбор в зависимости от конкретных задач и требований проекта.

Django – это высокоуровневый веб-фреймворк, следующий принципу "батарейки в комплекте". Он предоставляет разработчику практически всё необходимое для создания веб-приложения "из коробки": мощную ORM (Object-Relational Mapping) для работы с базами данных, встроенную административную панель, систему аутентификации и авторизации, механизм маршрутизации URL, шаблонизатор и собственную систему миграций [1]. Архитектура Django построена по шаблону MVT (Model-View-Template), который является вариацией классического MVC. Модели описывают структуру данных и взаимодействие с базой, представления содержат бизнес-логику, а шаблоны отвечают за отображение информации пользователю. Монолитный подход

обеспечивает высокую согласованность компонентов и значительно ускоряет разработку типовых проектов, поскольку многие задачи уже решены разработчиками фреймворка и не требуют дополнительного кодирования. Благодаря этому Django особенно популярен при создании интернет-магазинов, новостных порталов, блогов и административных панелей.

FastAPI – современный фреймворк для создания API, построенный на основе стандартов OpenAPI, JSON Schema и асинхронных возможностях Python. Он следует философии микрофреймворков, предоставляя только самое необходимое и позволяя разработчику выбирать дополнительные компоненты по своему усмотрению [2]. Ключевая особенность FastAPI – использование подсказок типов (type hints) Python для автоматической валидации данных, сериализации и генерации документации. Фреймворк построен на базе Starlette для веб-части и Pydantic для работы с данными, что обеспечивает высокую производительность, сопоставимую с Node.js или Go. FastAPI изначально поддерживает асинхронное программирование, что позволяет эффективно обрабатывать множество одновременных соединений, например, в приложениях реального времени, чатах или при работе с WebSocket. Архитектура FastAPI поощряет использование современных практик разработки и чистого, хорошо типизированного кода.

При сравнении производительности FastAPI демонстрирует значительное преимущество перед Django. Благодаря асинхронной архитектуре и минимальным накладным расходам, FastAPI способен обрабатывать тысячи запросов в секунду, уступая только низкоуровневым фреймворкам вроде Starlette. Django, особенно в синхронном режиме, показывает более скромные результаты, хотя с выходом версий 3.x и 4.x в нем появилась поддержка асинхронных представлений, что несколько улучшило ситуацию. Однако исторически сложившаяся синхронная ORM и другие компоненты пока не позволяют Django достичь производительности FastAPI в высоконагруженных сценариях. Для проектов, где критична скорость ответа и требуется обработка большого количества одновременных запросов, FastAPI является более предпочтительным выбором, особенно при создании публичных API, работающих с мобильными приложениями или одностраничными фронтами.

Удобство разработки и скорость написания кода оцениваются по-разному для каждого фреймворка. Django выигрывает за счет своей цельности и предсказуемости – разработчику не нужно принимать решения о выборе ORM, способов валидации или шаблонизации, всё уже включено и работает согласованно. Это особенно ценно при создании типовых веб-сайтов, где встроенная админка Django позволяет создать полноценный интерфейс управления данными за считанные минуты, а богатая экосистема готовых пакетов практически любые потребности – от интеграции с платежными системами до генерации PDF-документов. FastAPI требует от разработчика большей самостоятельности и понимания архитектурных решений – необходимо выбирать ORM (например, SQLAlchemy или Tortoise-ORM), настраивать подключение к базе данных, продумывать структуру проекта. Однако

использование подсказок типов значительно ускоряет разработку API за счет автоматической валидации и автодополнения в IDE, а встроенная документация Swagger и ReDoc генерируется автоматически и всегда актуальна, что упрощает взаимодействие с фронтенд-разработчиками и тестирование.

В области документирования API FastAPI не имеет равных среди Python-фреймворков. Благодаря глубокой интеграции со стандартами OpenAPI и JSON Schema, FastAPI автоматически создает интерактивную документацию по адресам /docs и /redoc сразу после написания кода. Разработчику достаточно описать модели данных с помощью Pydantic и указать типы параметров в функциях представлений, и документация будет сгенерирована автоматически с возможностью отправки тестовых запросов и визуализацией схем данных. Django не предоставляет подобной функциональности "из коробки" – для документирования API необходимо использовать сторонние пакеты, такие как Django REST Framework (DRF), который также умеет генерировать документацию, но требует дополнительной настройки и не достигает такой степени автоматизации и интеграции с типами данных, как FastAPI. Это делает FastAPI особенно привлекательным для проектов с активным использованием API и необходимостью поддерживать актуальную документацию для внешних потребителей.

Масштабируемость и поддержка современных архитектурных паттернов также различаются. FastAPI изначально проектировался для микросервисной архитектуры – он легковесен, быстро запускается, легко контейнеризируется с помощью Docker и не навязывает определенную структуру проекта, что позволяет гибко организовывать взаимодействие между сервисами. Django, будучи монолитным фреймворком, лучше подходит для создания крупных, целостных приложений, где важна согласованность данных и логики внутри одного проекта, но может использоваться и в микросервисной архитектуре, хотя это потребует дополнительных усилий по разделению функциональности и настройке взаимодействия между сервисами через API или очереди сообщений [3].

Безопасность является критически важным аспектом для любого веб-приложения. Django имеет многолетний опыт и встроенные механизмы защиты от распространенных уязвимостей: CSRF-атак, XSS, SQL-инъекций, кликджекинга и других. Фреймворк по умолчанию применяет безопасные настройки, предоставляет инструменты для защиты пользовательских данных и регулярно обновляется с учетом новых угроз. FastAPI также уделяет внимание безопасности, предлагая встроенную поддержку OAuth2, JWT-токенов, HTTPS и CORS, но полная защита требует от разработчика более глубокого понимания вопросов безопасности и правильной настройки всех компонентов. Однако благодаря использованию Pydantic и строгой валидации типов, FastAPI снижает риск ошибок, связанных с некорректной обработкой входных данных, что является дополнительным преимуществом с точки зрения безопасности.

При выборе фреймворка необходимо учитывать конкретные задачи и контекст проекта. Django идеально подходит для классических веб-сайтов с

серверным рендерингом, интернет-магазинов, корпоративных порталов, новостных изданий и административных панелей, где требуется быстрый старт и наличие готовых компонентов для управления контентом. Благодаря встроенной админке, мощной ORM и огромному количеству готовых пакетов, Django позволяет создавать сложные системы с минимальными затратами времени и усилий, что особенно важно при ограниченных сроках разработки. FastAPI оптимален для высоконагруженных API, микросервисной архитектуры, приложений реального времени (чаты, уведомления, потоковая передача данных), а также проектов, где критична производительность и необходима автоматическая документация для взаимодействия с фронтенд-командами или внешними разработчиками. FastAPI также часто выбирают для новых проектов, где хочется использовать самые современные возможности Python и асинхронное программирование.

Возможно комбинированное использование обоих фреймворков в рамках одной экосистемы. Например, Django может служить для административной панели и управления контентом, а FastAPI – для публичного высоконагруженного API, обеспечивающего взаимодействие с мобильными приложениями. Такой подход позволяет использовать сильные стороны обоих фреймворков и строить гибкие, масштабируемые системы, где каждый компонент решает свои задачи оптимальным образом. Django REST Framework, являющийся надстройкой над Django, предоставляет многие возможности, схожие с FastAPI, но сохраняет связь с экосистемой Django, что может быть удобно для проектов, уже использующих этот фреймворк, и позволяет получить многие преимущества современного API без перехода на другую технологию.

Проведенный сравнительный анализ показывает, что Django и FastAPI занимают разные ниши в экосистеме Python-разработки и не являются прямыми конкурентами в полном смысле этого слова. Django остается непревзойденным выбором для создания полнофункциональных веб-сайтов и сложных корпоративных систем благодаря своей цельности, богатому набору встроенных инструментов и проверенной временем архитектуре, ориентированной на быструю разработку типовых решений. FastAPI представляет современный подход к созданию API, ориентированный на производительность, асинхронность и автоматическую документацию, что делает его идеальным кандидатом для создания микросервисов и высоконагруженных интерфейсов, где важна скорость и масштабируемость. Выбор между ними должен основываться на конкретных требованиях проекта: если приоритетом является скорость разработки типового веб-приложения с административным интерфейсом и управлением контентом – выбор за Django; если требуется создать высокопроизводительное API с автоматической документацией и поддержкой асинхронности – FastAPI станет лучшим решением. Понимание сильных и слабых сторон каждого фреймворка позволяет разработчикам и архитекторам принимать обоснованные решения и создавать эффективные, поддерживаемые и масштабируемые веб-приложения, максимально соответствующие поставленным задачам.

Литература

- [1]. Django Software Foundation. Django Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.djangoproject.com/> (дата обращения: 8.03.2026).
[2]. FastAPI. FastAPI Documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 9.03.2026).
[3]. Percival H., Gregory D. Two Scoops of Django: Best Practices for Django 3.x. – 4th ed. – Two Scoops Press, 2020. – 486 p.

*А.А. Рыклин, студ.; рук. А.С. Федулова, ст. преподаватель
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

РАЗРАБОТКА ТРЁХУРОВНЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ФРЕЙМВОРКЕ BLAZOR WEBASSEMBLY

Современные веб-технологии быстро развиваются, предоставляя разработчикам множество инструментов для создания высокопроизводительных приложений. Закономерно повышаются требования к итоговой разработке. Фреймворк Blazor от Microsoft в настоящее время используется для создания интерактивных веб-приложения на языке C#.

Востребованность технологии продемонстрирована на рисунке 1, был проведен международный опрос Stack Overflow Developer Survey, доля респондентов, использующих Blazor в своей разработке, увеличивается: в 2022 году она составляла 4,46%, в 2022 году выросла до 4,88%, в 2023 году достигла 4,90%, а по итогам 2025 года зафиксирована на уровне 7,00% (рис. 1) [1]. Положительная динамика свидетельствует о растущем признании технологии и занимает лидирующее место среди веб-фреймворков у разработчиков.



Рис. 1. Градация роста популярности Blazor (2022-2025)

По мере работы над проектом усложняется кодовая база, что влияет на дальнейшую разработку, поэтому важно выбрать архитектуру приложения, которая позволит структурировать код и разделить ответственность между компонентами. Одним из подходов к организации структуры работы над проектом является трёхуровневая архитектура, которая десятилетиями доказывает свою эффективность в разработке.

Целью работы является описание интеграции трёхуровневой архитектуры в проекты на фреймворке Blazor WebAssembly.

Трёхуровневая архитектура (рис. 2) – это архитектура программного обеспечения, в которой приложения разделены на три логических и физических уровня: уровень представления (пользовательский интерфейс), уровень приложения, на котором осуществляется обработка данных, и уровень данных, предназначенный для хранения и управления данными, относящимися к приложению [2].

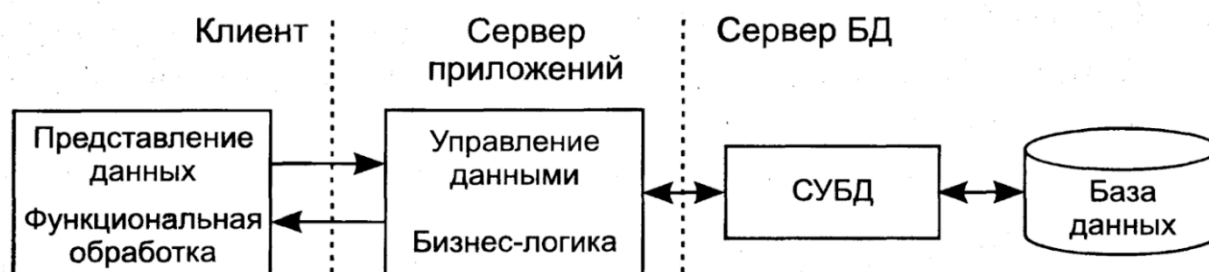


Рис. 2. Трёхуровневая архитектура

Отличие от одноуровневых и двухуровневых архитектур, рассматриваемая модель предполагает логическое и физическое разделение системы на три уровня, что позволяет добиться разграничения ответственности между компонентами.

1. Представление (или пользовательский интерфейс) – этот уровень взаимодействия с пользователем и отображение данных. Создается графических интерфейс, веб-страницы или мобильные приложения, которые видит и использует пользователь [3]. Blazor, являясь фреймворком для создания клиентской части веб-приложений, реализует пользовательский интерфейс. Ключевое отличие заключается в возможности использования языка C# для написания логики компонентов, что отличает его от традиционных JavaScript-ориентированных решений.

2. Логика приложения (бизнес-логика) – это уровень, который содержит логику и алгоритмы, необходимые для обработки запросов пользователей и выполнения бизнес-процессов. Выполняется обработка информации, полученной на уровне представления, в отдельных разработках выполняется учет уровня данных, с использованием бизнес-логики, представляющей собой совокупность бизнес-правил. Обрабатываются операции по обработке данных и принятию решений [3].

Фундаментальным принципом организации уровня является его независимость от других слоев: он не должен обладать информацией о том, как именно отображаются данные пользователю (уровень представления) и каким способом они сохраняются (уровень данных).

Взаимодействие уровней осуществляется через специализированные интерфейсы, что обеспечивает слабую связность системы. В приложениях на платформе .NET бизнес-логика реализуется в виде отдельной библиотеки классов, содержащей сервисы и обработки команд.

3. Уровень данных (или хранилище данных) – это уровень, который отвечает за хранение и управление данными приложения. Применяются базы данных или другие механизмы для сохранения информации, с которой приложение работает [3]. Уровень позволяет ограничивать остальные уровни от взаимодействия с источником данных. Уровни представления или бизнес-логики не должны получать данных о хранении в базе или получении информации из внешнего API. Уровень данных в бизнес-логике участвует в предоставлении доступа к данным, что делает систему гибкой: замена типа базы данных или изменение схемы хранения затронет отдельный уровень и не потребует переписывания остальной части приложения.

Основополагающим правилом трёхуровневой архитектуры является вертикальное взаимодействие – каждый последующий уровень может взаимодействовать только с нижележащим. Согласно этому правилу: уровень представления обладает информацией об уровне бизнес-логики, а уровень бизнес-логики только об уровне данных. Прямое обращение уровня представления к уровню данных считается нарушением архитектуры.

В контексте приложений на Blazor, в модели WebAssembly, где программный код выполняется на клиенте, не на сервере, использование уровня доступа к данным недопустимо с точки зрения безопасности. Уровень остается на серверной стороне, доступ к данным осуществляется через уровень бизнес-логики и Web API.

Для реализации трёхуровневой архитектуры на фреймворке Blazor WebAssembly требуется введение дополнительного уровня-контроллера - Web API. Он размещается на сервере и выступает как шлюз, через который уровень представления взаимодействует с серверной частью. В этой модели цепочка взаимодействия преобразуется к виду, где добавляется уровень Web API (рис. 3).

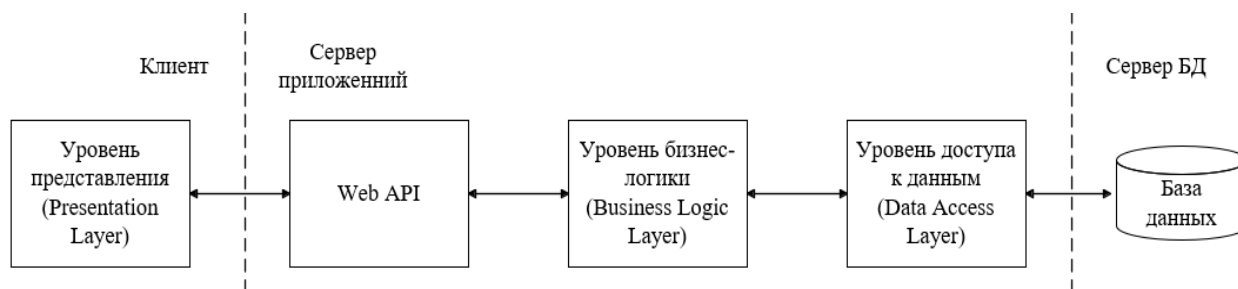


Рис. 3. Обновленная архитектура

Уровень Web API самостоятельно принимает HTTP-запросы от клиента (пользовательского интерфейса), аутентифицирует, делегирует выполнение операций уровню бизнес-логики и возвращает результат клиенту в формате JSON виде. На API-уровне обеспечивается безопасное и контролируемое взаимодействие между клиентской частью, выполняемой в не безопасной среде и защищенной серверной инфраструктурой.

В модели коммуникация между клиентом и сервером осуществляется через Web API: уровень представления инициирует HTTP-запрос, а API-слой возвращает результат его выполнения (рис. 4).

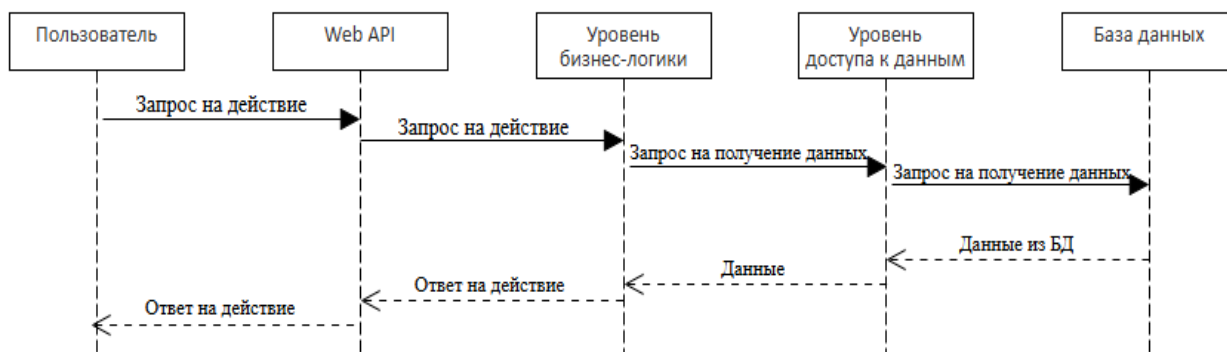


Рис. 4. Диаграмма последовательности

Диаграмма последовательности иллюстрирует описанный механизм взаимодействия на примере сценария - запроса данных от клиента к серверу.

Уровень представления взаимодействует с Web API. Код, реализующий бизнес-логику и доступ к данным, полностью изолирован на сервере и недоступен для анализа или модификации со стороны клиента. Каждый запрос проходит обязательную проверку на уровне API, до перехода в уровень бизнес-логики, это исключает несанкционированный доступ к данным.

В ходе проведённого исследования были рассмотрены особенности разработки классической трёхуровневой архитектуры в веб-приложения, разрабатываемые на фреймворке Blazor. Проведён анализ роли уровней: представления, бизнес-логики и доступа к данным. Представлена диаграмма последовательности, наглядно демонстрирующая процесс прохождения запроса через все уровни системы, в ходе которого соблюдается принцип разделения ответственности. Развитие темы может быть связано с исследованием вопросов масштабирования приложений, оптимизации производительности при высоких нагрузках, интеграцией шаблонов проектирования, повышающих гибкость и тестируемость уровней бизнес-логики и доступа к данным.

Литература

- [1]. Stack Overflow Developer Survey [Электронный ресурс]. – New York: Stack Overflow. – URL: <https://survey.stackoverflow.co/> (дата обращения: 11.03.2026).
- [2]. Системная и программная инженерия [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Миронов А.Н., Воронцов Ю.А., Михайлова Е.К., Трушин С.М. – М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022.

*А.С. Сапожников, студ.; рук. Д.Ю. Попков, ст. преподаватель
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВЕЩАНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ

Профессиональное оборудование в сфере телевидения, позволяющее проводить удалённые трансляции в высоком качестве без потерь сигнала и с поддержкой вывода полноэкранного SDI⁶ видеосигнала стоит сотни тысяч и миллионы рублей. Для небольших студий, учебных заведений и независимых вещателей такие затраты нередко оказываются неприемлемыми. Выполнение тех же функций программными средствами на обычном ПК с бюджетной картой захвата и вывода SDI-видео позволяет снизить стоимость решения на порядок.

В рамках выпускной квалификационной работы разрабатывается программное обеспечение с функционалом приёма отправленного видеоматериала (заранее записанный файл, либо прямой эфир с камеры в реальном времени) через сеть, обработки его и вывода сигнала через карту на SDI-выход. В работе программного обеспечения задействована библиотека FFmpeg⁷, а также SDK карты Blackmagic DeckLink для управления SDI-интерфейсом. Для обоснования выбора транспортного протокола и кодека было проведено сравнительное исследование, результаты которого изложены в данной статье.

В совокупности с картой Blackmagic DeckLink SDI 4K (розничная цена около 25 000 рублей) разрабатываемое ПО обеспечит полноценный профессиональный вещательный сервер за долю стоимости аппаратного аналога.

Для обоснования выбора технологий передачи видео было проведено сравнительное исследование, результаты которого изложены в данной статье.

Транспортные протоколы IP-вещания. В IP-вещании для доставки видеопотока от камеры к принимающей программе наиболее распространены два протокола.

RTMP (Real-Time Messaging Protocol) работает поверх TCP. При потере пакета в сети TCP ожидается его повторная отправка. При повторной установке соединения возможна кратковременная остановка воспроизведения. Помимо этого, данные передаются в открытом виде: любой участник той же сети может перехватить поток.

SRT (Secure Reliable Transport) работает поверх UDP и реализует собственный механизм восстановления потерянных пакетов: запрос повторной

⁶ Serial Digital Interface – стандартный интерфейс подключения профессиональных мониторов, видеомикшеров и систем захвата

⁷ FFmpeg – это мощный набор библиотек и программ с открытым исходным кодом для обработки аудио и видео, который позволяет конвертировать, записывать и транслировать мультимедиа в любых форматах.

отправки выполняется параллельно, не задерживая остальной поток, поэтому изображение остаётся стабильным. Весь поток шифруется, что исключает перехват. Недостаток: настраиваемый буфер ожидания несколько увеличивает итоговую задержку по сравнению с RTMP. В таблице 1 приведено сравнение протоколов.

Таблица 1 – Сравнение протоколов RTMP и SRT

Параметр	RTMP	SRT
Транспортный уровень	TCP	UDP с восстановлением потерь
Типичная задержка	300–400 мс	400–650 мс (настраивается)
При потерях пакетов	Заморозка картинки	Незаметное восстановление
Шифрование	Нет (данные открыты)	AES-128 / AES-256 встроено
Максимальный битрейт	до 25 Мбит/с	до 200 Мбит/с
Применение в разработанном ПО	Совместим, не рекомендован	Основной режим

Защита видеопотока. SRT шифрует поток алгоритмом AES-256 – промышленным стандартом шифрования с длиной ключа 256 бит, благодаря чему раскрыть методом перебора такой ключ практически невозможно.

Пользователь задаёт парольную фразу, на основе которой по алгоритму PBKDF2 формируется ключ шифрования. Ключ автоматически обновляется примерно раз в три минуты без прерывания трансляции. В разрабатываемом ПО парольная фраза задаётся в окне настроек.

Форматы кодирования видео. В студийном вещании стандартным форматом сигнала на SDI-выходе является 1080i 50 Гц – чересстрочная развёртка с разрешением 1920×1080 и частотой полей 50 Гц, обеспечивающей плавную передачу движения при вещании в стандарте PAL [1]. Перед отправкой по сети видеосигнал сжимается кодеком: из кадра удаляется пространственная избыточность (похожие области кодируются один раз) и временная (между кадрами передаётся только изменившаяся часть) [2].

H.264 оптимален для разрешения 1080p: хорошее качество при битрейте 4–8 Мбит/с, минимальная нагрузка на процессор, задержка декодирования менее 100 мс. При 4K разрешении стандарт теряет эффективность: блоки предсказания 16×16 пикселей не справляются с высокой детализацией, битрейт вынужденно растёт до 25–40 Мбит/с – это перегружает канал сети и увеличивает риск обрывов. H.265 использует блоки до 64×64 пикселей и при 4K обходится 12–15 Мбит/с при том же качестве. Нагрузка при декодировании выше на 30–40 %, поэтому без аппаратного видеоускорителя при 4K возможны потери кадров. Практические значения подтверждены в эксперименте.

Экспериментальное исследование. Цель исследования заключается в апробации разработанного ПО в реальных условиях эксплуатации и проведении сравнительного исследования протоколов передачи и кодеков сжатия для выбора

технического решения, гарантирующего максимальную стабильность и качество видеотрансляций.

Применяемое оборудование и программные средства. Источником видеосигнала является смартфон на операционной системе Android с установленным приложением Blackmagic Camera, подключённый к домашней сети Wi-Fi по стандарту 802.11ax (частота 5 ГГц). В настройках приложения (Рис. 1) задаётся IP адрес с портом, на который будет отправляться трансляция, указываются протоколы и другие параметры сигнала. Принимающим устройством является персональный компьютер (ПК) на базе процессора Intel Core i9-11900K (8 ядер, 3,5 ГГц), 16 ГБ ОЗУ, с операционной системой Windows 11. Смартфон и ПК находятся в одной локальной сети, созданной маршрутизатором. На ПК запускается программа разрабатываемого ПО, которая будет принимать входящий поток и выводить его на карту Blackmagic DeckLink SDI 4K, подключённую к SDI-монитору. Нагрузка на канал создаётся параллельным скачиванием файлов на том же маршрутизаторе.

Приложение Blackmagic Camera в режиме реального времени отображает текущий битрейт потока – по этим показаниям фиксировались значения для каждой конфигурации. Нагрузка на процессор ПК фиксировалась каждую секунду встроенными средствами мониторинга в Windows. Задержка определяется по временной метке, встроенной приложением в видеопоток. Потери кадров подсчитывались по разрывам в нумерации. Каждая конфигурация тестировалась трижды по 5 минут (7500 кадров при 25 кадр/с); приведены средние значения. Параметр latency в SRT установлен в 400 мс – рекомендованное значение для Wi-Fi. В ходе тестирования для SRT был установлен более высокий битрейт (9 Мбит/с против 6 для 1080p; 35 против 25 Мбит/с для 4K) – чтобы оценить способность протокола работать при большей нагрузке на канал.

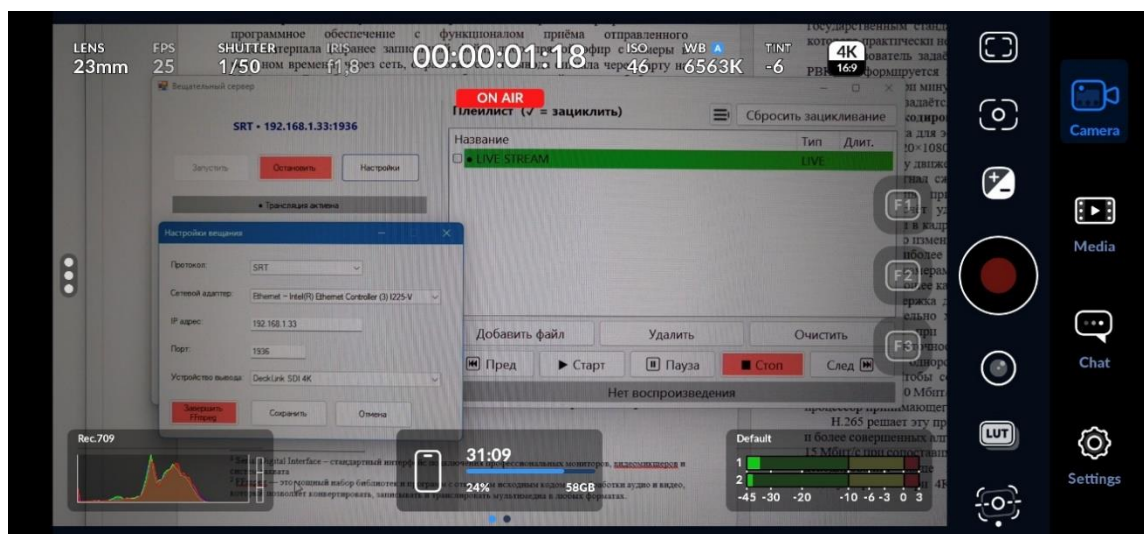


Рисунок 1 – Интерфейс приложения Blackmagic Camera с активной трансляцией

Тестирование протоколов видеотрансляции отображено в таблице 2. При разрешении 1080p оба протокола справились без потерь кадров, нагрузка на

процессор практически одинакова (11 % и 12 %) – шифрование SRT не создаёт заметных затрат. Разница в задержке (310 мс у RTMP против 480 мс у SRT) объясняется буфером ARQ. При нагрузке на сеть RTMP давал остановки воспроизведения длиной 1-2 с, SRT сохранял плавную картинку.

При 4K RTMP потерял 11 кадров из 7500, были обрывы. SRT потерял 2 кадра, обрывов замечено не было. Более высокий битрейт SRT (35 Мбит/с) обеспечил лучшее качество изображения. Результаты подтвердили также вывод об H.264 при 4K: высокий битрейт (25 Мбит/с) при RTMP создавал нестабильность канала, тогда как при H.265 и SRT тот же уровень качества достигался при 35 Мбит/с с меньшим числом потерь.

Таблица 2 – Результаты тестирования разрабатываемого ПО

Протокол	Разр.	Битрейт источ.	CPU, %	Задержка, мс	Потери кадров*	При нагрузке на Wi-Fi
RTMP	1080p	6 Мбит/с	10	310	0	Остановки 1-2 с при параллельном трафике в сети
SRT	1080p	9 Мбит/с	12	480	0	Стабильная картинка без артефактов
RTMP	4K	25 Мбит/с	17	340	11	Частые остановки, поток обрывался
SRT	4K	35 Мбит/с	21	620	2	Единичные потери, незаметные при использовании

* Потери кадров из 7500 (5 мин. × 25 кадр/с). Тест проводился при параллельной нагрузке на Wi-Fi.

Сравнение кодеков по данным реальной записи. Для каждой конфигурации снималась одна и та же сцена (движущиеся объекты, высокая детализация) длительностью 5 минут. Текущий битрейт считывался с экрана приложения Blackmagic Camera, объём файла определялся по завершении записи. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнение кодеков по ключевым параметрам

Кодек	Разр.	Битрейт	CPU, %	Задержка	Объём/час	Стабильность при передаче по Wi-Fi
H.264	1080p	6-8 Мбит/с	12-14	< 100 мс	~3,1 ГБ	Стабильно, без потерь
H.264	4K	25-40 Мбит/с	20-23	< 100 мс	~14 ГБ	Нестабильно: частые обрывы при малейших потерях пакетов
H.265	1080p	3-4 Мбит/с	18-20	< 150 мс	~1,8 ГБ	Стабильно, объём меньше на 42 %
H.265	4K	12-15 Мбит/с	28-30	< 150 мс	~6,2 ГБ	Стабильно при наличии аппаратного декодера; объём меньше на 56 %

Анализ таблицы 3 показывает, что H.264 при 4K требует в 4–5 раз большего битрейта, чем H.265 при том же разрешении, и формирует файл объемом около 14 ГБ в час – более чем вдвое больше, чем H.265 (6,2 ГБ). При этом устойчивость потока H.264/4K к потерям пакетов значительно хуже: в ходе тестирования зафиксированы частые обрывы уже при минимальных помехах в сети. Причина – избыточный битрейт нагружает канал Wi-Fi, увеличивая вероятность перегрузки буферов маршрутизатора. H.265 при 4K передает вдвое меньше данных по тому же каналу, что напрямую снижает число потерянных пакетов и повышает стабильность. Для разрабатываемого ПО переход с H.264 на H.265 при 4K позволяет одновременно снизить нагрузку на сеть, уменьшить объем архивных записей и повысить стабильность прямого эфира.

Анализ рисков прерывания потока и методы резервирования. В ходе тестирования зафиксированы три типичных сценария прерывания потока: кратковременное пропадание сети (1–5 с), превышение задержки выше порога буфера SRT и перезапуск приложения-источника. При каждом из них разрабатываемое ПО останавливает FFmpeg и ожидает нового подключения. Для прямого вещания даже 3–5 секунд такого сигнала критичны; при записи материала – теряется фрагмент, который нельзя восстановить.

Для повышения надёжности в разрабатываемом ПО предусмотрен ряд мер. Реализовано автоматическое переключением – после разрыва программа немедленно перезапускает приём в режиме ожидания. Также реализована параллельная запись в файл на диске; при обрыве все материалы до момента разрыва сохраняются. Для дополнительной стабильности при нестабильном канале соединения рекомендуется увеличить параметр latency (задержку) до 1000–2000 мс. Так протокол будет получать больше времени на восстановление пакетов и переживёт кратковременные просадки сигнала без разрыва. Для живого вещания, где задержка важна – оптимально значение 400–600 мс.

Разрабатываемое ПО в связке с картой Blackmagic DeckLink подтвердило работоспособность как бюджетная замена профессиональному оборудованию. По результатам исследования в качестве основного протокола выбран SRT: он надёжнее при нестабильной сети и обеспечивает встроенную защиту данных шифрованием AES-256. Протокол RTMP оставлен для совместимости со старым оборудованием. Основным кодеком рекомендован H.264 для 1080p и H.265 для 4K при наличии аппаратного декодера. H.264 при 4K экономически неэффективен из-за избыточного битрейта. Анализ сценариев прерывания потока показал необходимость реализации автоматического переключением и параллельной записи потока в файл средствами FFmpeg, также возможность настройки буфера SRT latency в диапазоне 400–2000 мс в зависимости от требований к задержке. Шифрование SRT не влияет на производительность и рекомендовано к использованию по умолчанию.

Литература

- [1]. Карякин В.Л. Цифровое телевидение: учебное пособие для вузов, 2-е изд. М. : СОЛОН-Пресс, 2013. 448 с.
- [2]. Ватолин Д., Ратушняк А., Смирнов М., Юкин В. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео. М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 384 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ

Современный этап развития информационного общества сопровождается кардинальной трансформацией архитектур, на которых базируются цифровые сервисы. Вычислительные ресурсы, которые ранее рассматривались как статичные технические активы, сегодня функционируют в рамках гибких, масштабируемых и интеллектуально управляемых экосистем. Рост масштабов и сложности этих экосистем обуславливает необходимость перехода от реактивного администрирования к проактивному, алгоритмизированному контролю, реализуемому посредством электронных информационных технологий.

Под электронными информационными технологиями в данном исследовании понимается совокупность методов, программных средств и аппаратно-программных решений, обеспечивающих автоматизированный сбор, обработку, анализ и применение данных для целей мониторинга, конфигурирования, оптимизации и поддержания работоспособности аппаратных вычислительных компонентов. Такие технологии включают, но не ограничиваются, системами управления жизненным циклом ИТ-активов, средствами искусственного интеллекта для прогнозирования отказов, а также решениями, реализующими принципы программно-определяемых вычислений.

Актуальность изучения указанного направления обусловлена несколькими факторами. Во-первых, растущая зависимость экономических и управленческих процессов от стабильности цифровой среды повышает требования к надёжности технической базы. Во-вторых, стремление организаций к снижению совокупных операционных издержек делает экономически целесообразным внедрение интеллектуальных механизмов управления ресурсами. В-третьих, в контексте социально-экономической повестки цифровой трансформации эффективное использование вычислительной мощности способствует рациональному распределению бюджетных и энергетических ресурсов, что особенно важно для государственного сектора и инфраструктурно значимых отраслей.

Целью настоящей работы выступает комплексный анализ современных электронных информационных технологий, применяемых для управления аппаратными вычислительными средствами, с оценкой их влияния на технические, операционные и экономические показатели функционирования ИТ-сред.

Развитие цифровой среды привело к тому, что граница между «аппаратом» и «информацией» размылась: вычислительная техника перестала быть пассивным инструментом и превратилась в активного участника информационных процессов. Именно в этом контексте формируется современное понимание электронных информационных технологий - не как

набора программ или устройств, а как динамической системы, в которой данные, алгоритмы и технические ресурсы взаимодействуют в режиме реального времени. Если ранее ЭИТ трактовались преимущественно как средства автоматизации рутинных операций, то сегодня они включают в себя интеллектуальные платформы, способные не только реагировать на изменения, но и формировать стратегию поведения ИТ-инфраструктуры. В этом смысле последнее слово в управлении всё чаще принадлежит не администратору, а модели, обученной на исторических и оперативных данных [1].

С научной точки зрения, под электронными информационными технологиями в рамках настоящего исследования понимается интегрированная совокупность методов, протоколов, программно-аппаратных решений и аналитических моделей, направленных на обеспечение целенаправленного функционирования вычислительных ресурсов. Эта совокупность охватывает как базовые уровни: операционные системы, драйверы, утилиты мониторинга, так и высокоуровневые архитектуры: системы искусственного интеллекта, цифровые двойники инфраструктурных компонентов.

Параллельно с этим трансформируется и само понятие управления вычислительной техникой. Оно уже не сводится к настройке параметров или замене неисправных модулей. Современное управление представляет собой многофазный процесс, включающий:

- непрерывный мониторинг состояния аппаратных компонентов;
- динамическое конфигурирование в ответ на изменение нагрузки;
- оптимизацию распределения ресурсов с учётом энергетических и производительных ограничений;
- обеспечение информационной безопасности на аппаратном уровне (например, через доверенные платформенные модули);
- управление жизненным циклом оборудования: от закупки и ввода в эксплуатацию до списания и утилизации.

Трансформация управленческой парадигмы перестаёт быть лишь теоретической идеей - она находит своё отражение в конкретных технологиях, которые реально работают и выполняют нужные функции. Многоэтапная структура современного управления задаёт общий каркас процесса, а наполняют его инструменты, платформы и методологии, объединённые одной задачей: превратить вычислительную технику из пассивного ресурса в гибкий и частично самоорганизующийся элемент цифровой среды.

В этом контексте программно-определяемые архитектуры, системы автоматизации, облачные оркестраторы и интеллектуальные аналитические модели перестают восприниматься как отдельные продукты. Они становятся связанными между собой частями единой экосистемы, которая делает управление более целостным, адаптивным и устойчивым.

Реализация многофазного подхода к управлению вычислительной техникой стала возможной благодаря переходу на программно-определяемые системы (SDN, SDS, SDDC), которые отделяют логику управления от физического уровня, позволяя оперировать ресурсами как динамическими объектами через

унифицированные интерфейсы. Это повышает гибкость развёртывания и обеспечивает централизованный контроль, дополняемый платформами управления ИТ-активами (ИТАМ). Интеграция ИТАМ с инструментами мониторинга формирует единое пространство наблюдаемости, где каждое устройство становится источником данных о производительности и состоянии, что позволяет перейти от реактивного к предиктивному сопровождению техники на всём жизненном цикле.

Дальнейшая эволюция связана с массовым переходом к облачным и гибридным архитектурам, где локальные вычислительные мощности динамически дополняются ресурсами публичных или частных облаков. В таких условиях управление выходит за пределы единой административной границы, что требует новых методов синхронизации конфигураций, контроля доступа и распределения нагрузки. Решение этой задачи лежит в плоскости автоматизации через скрипты, API и системные оркестраторы, таких как Ansible, Puppet или Terraform, которые позволяют описывать инфраструктуру в декларативной форме, обеспечивая её воспроизводимость, версиюность и соответствие политикам безопасности.

На следующем этапе развития управление приобретает черты интеллектуального анализа. Методы искусственного интеллекта и машинного обучения начинают применяться не только для обнаружения аномалий, но и для прогнозирования отказов оборудования, оптимизации распределения вычислительной нагрузки и балансировки энергопотребления. Обученные на исторических данных модели способны выявлять скрытые зависимости между параметрами работы серверов, что позволяет заранее инициировать техническое обслуживание или перераспределить задачи между узлами. В результате - управление вычислительной техникой трансформируется из набора операций в адаптивную, самообучающуюся систему, способную принимать обоснованные решения в условиях неопределённости [2].

Внедрение современных электронных технологий в управление вычислительной техникой обеспечивает выраженную экономическую отдачу за счет снижения операционных рисков, сокращения времени реакции на инциденты и оптимизации использования ресурсов. Системы прогнозного мониторинга и автоматизированного восстановления уменьшают время устранения сбоев на 30-50% и частоту критических отказов на 20–40%, что критически важно для отраслей с высокой зависимостью от непрерывности процессов. Дополнительный экономический эффект достигается через рациональное распределение нагрузки и динамическое масштабирование, позволяющие снизить затраты на электроэнергию и амортизацию оборудования на 15–25% без ущерба для производительности.

Стоит учесть, что важным аспектом является также влияние автоматизации на трудовые ресурсы. Освобождение ИТ-специалистов от рутинных задач позволяет перераспределить их компетенции в область проектирования архитектур, анализа данных и стратегического планирования, что трансформирует роль ИТ-подразделений: из технической службы они

превращаются в центры создания добавленной стоимости, непосредственно участвующие в цифровой трансформации бизнес-процессов.

Если говорить о социально-экономическом измерении, то оно проявляется и в повышении доступности цифровых услуг. В государственном секторе, например, эффективное управление вычислительной техникой в распределённых учреждениях (школах, поликлиниках, муниципальных центрах) позволяет обеспечить стабильную работу цифровых сервисов даже при ограниченных бюджетах, тем самым сокращая разрыв в качестве предоставляемых услуг между регионами. Таким образом, технологии управления вычислительной техникой выходят за рамки инфраструктурной оптимизации и становятся инструментом реализации политики цифрового равенства.

В совокупности данные эффекты подтверждают, что инвестиции в интеллектуальные системы управления вычислительными ресурсами оправданы не только с инженерной, но и с экономической точки зрения, особенно в условиях роста требований к устойчивости, гибкости и экологичности цифровых экосистем.

Эволюция ИТ-управления, переходящего от рутинного администрирования к интеллектуальному сопровождению сложных цифровых экосистем, неизбежно трансформирует и человеческий фактор. Если раньше достаточным считалось владение навыками конфигурирования оборудования и диагностики сбоев, то сегодня от специалиста ожидается способность проектировать автоматизированные процессы, интерпретировать выводы аналитических моделей и интегрировать технические решения в стратегические цели организации.

Требования к специалистам в области управления вычислительной техникой всё чаще выходят за рамки узкопрофильных технических компетенций. От выпускников программ по прикладной информатике теперь ожидается синтетическое мышление: умение сочетать знания в области архитектуры ИТ-инфраструктур, принципов автоматизации, основ анализа данных и экономики цифровых решений. В частности, востребованы навыки понимания логики машинного обучения в контексте прогнозной аналитики, а также способность оценивать не только техническую, но и экономическую целесообразность внедрения того или иного решения.

Следовательно, появляется разрыв между содержанием многих действующих образовательных программ и реальными потребностями рынка труда. Традиционные курсы, сфокусированные преимущественно на операционных системах, сетях и администрировании, недостаточно охватывают такие аспекты, как управление жизненным циклом ИТ-активов, интеграция гибридных облаков или применение искусственного интеллекта в ИТ-операциях.

Однако даже самая актуальная академическая подготовка не может полностью «застраховать» специалиста от устаревания знаний в условиях экспоненциального развития технологий. Поэтому ключевую роль приобретает

культура непрерывного профессионального обучения через корпоративные программы повышения квалификации, онлайн-курсы, сертификации и участие в профессиональных сообществах [3]. В цифровой экономике компетентность перестаёт быть разовым достижением и становится процессом, требующим постоянной рефлексии и адаптации.

Проведённый анализ позволяет утверждать, что применение электронных информационных технологий в управлении вычислительной техникой представляет собой не просто модернизацию инструментария администрирования, а фундаментальный сдвиг в самой логике взаимодействия с техническими ресурсами. От реактивного контроля к проактивному прогнозированию, от изолированных систем к интегрированным экосистемам, от ручных операций к интеллектуальной автоматизации, каждая из этих трансформаций вносит вклад в повышение надёжности, гибкости и экономической рентабельности цифровой инфраструктуры.

Особую значимость приобретает синергия между технологическими возможностями и кадровым потенциалом: даже самые передовые решения теряют эффективность без специалистов, способных их осмысленно применять и развивать, что подчёркивает необходимость системного обновления образовательных программ по прикладной информатике, ориентированных на формирование комплексных компетенций, объединяющих техническое мастерство с экономическим мышлением.

В перспективе дальнейшие исследования могут быть направлены на количественную оценку влияния интеллектуальных систем управления на устойчивость цифровых сервисов, а также на разработку методологий интеграции принципов искусственного интеллекта в стандарты ИТ-аудита и государственного регулирования. Пока же очевидно одно: в условиях нарастающей зависимости экономики и общества от цифровой среды, управление вычислительной техникой становится не вспомогательной функцией, а одной из ключевых составляющих национальной и корпоративной цифровой устойчивости.

Литература

1. Информационные технологии в управлении организацией: роль, цель и общая характеристика управленческих ИТ [Электронный ресурс] // Cleverence.ru. - URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/informatsionnye-tehnologii-v-upravlenii-organizatsiey-rol-tsel/> (дата обращения: 08.12.2025).
2. Компьютерные технологии в управлении [Электронный ресурс] // Spravochnik.ru. - URL: https://spravochnik.ru/informacionnye_tehnologii/kompyuternye_tehnologii_v_upravlenii/ (дата обращения: 08.12.2025).
3. Применение компьютерных технологий в управлении организацией [Электронный ресурс] // Молодой учёный. - 2019. - № 206. - С. 44. - URL: <https://moluch.ru/archive/206/50348> (дата обращения: 08.12.2025).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АССИСТЕНТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВНЕКЛАССНОЙ РАБОТЫ»

Организация внеклассной работы, в том числе и индивидуальные занятия с репетитором, требует значительных усилий со стороны педагога, поскольку, рутинная работа не автоматизирована. Преподаватель совмещает и методическую работу, и административную. В его работу входит составление расписания, отслеживание оплат, анализ прогресса учеников.

Предлагается информационная платформа, которая позволяет интегрировать информацию, распределенную по различным ресурсам (блокнотам, таблицах Excel, соцсетям и пр.) [1].

Цель работы – описание программного комплекса, который обеспечивает автоматизацию внеклассной работы педагога.

Система основывается на базовой трёхуровневой архитектуре (Рис. 1), обеспечивающей ясное разделение между компонентами, и упрощает последующую работу и масштабирование приложения [2].

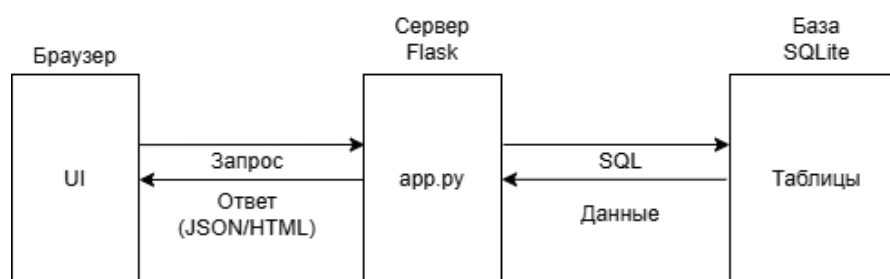


Рисунок 1 – Архитектура программного комплекса «Ассистент преподавателя внеклассной работы»

Клиентский уровень представления реализован с помощью HTML-шаблонов и CSS. Его основная задача заключается в организации представления данных и организации управлением взаимодействием преподавателя с разработанным программным комплексом.

Уровень бизнес-логики выполнен с помощью фреймворка Flask (Python). Здесь собрана основная функциональность приложения, а именно генерация расписания уроков, управление доступом к информации, обработка HTTP-запросы.

Доступ к данным представлен базой данных SQLite. Это обеспечивает автономность системы, поскольку все данные хранятся локально, и упрощает её развертывание, так как нет необходимости в установке и настройке отдельного серверного экземпляра данных.

Предлагаемая архитектурная декомпозиция позволяет разделить процессы сопровождения программного комплекса от его применения преподавателем.

Изменения интерфейса пользователя не требуют правок логики работы с данными, и наоборот.

Главный элемент системы, который определяет её функции, – это структура разработанной базы данных. После изучения предметной области была составлена ER-диаграмма [3], которая показывает ключевые сущности и связи между ними (Рис. 2).

Основной элемент системы – сущность «Ученик» (таблица `students`), содержит персональные данные ученика, номера телефонов и параметры класс обучающегося (`grade`) и стоимость занятия (`rate`). Вокруг нее располагаются две функциональные области: модули планирования занятий и отслеживания абонементов.

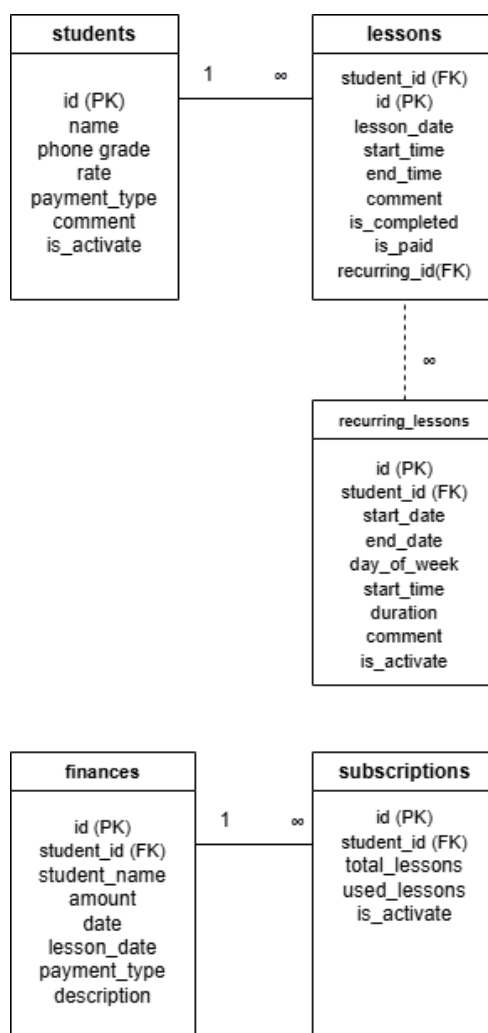


Рисунок 2 – ER-диаграмма системы «Ассистент преподавателя внеклассной работы»

Расписание занятий формируется таблицами `lessons` и `recurring_lessons` (для повторяющихся уроков). Таблица «Уроки» фиксирует информацию о каждом уроке: дату и время его проведения, ссылку на ученика (внешний ключ `student_id`), статус проведения (`is_completed`) и комментарий о занятии. Для автоматического формирования повторяющихся уроков создана сущность

«Шаблоны повторяющихся уроков» (`recurring_lessons`), где хранятся параметры повторения: день недели, время, длительность урока и период работы. На основе вышеперечисленных шаблонов серверная часть вносит конкретные уроки в таблицу `lessons`, при этом каждый созданный содержит ссылку (`recurring_id`) на соответствующий шаблон, что позволяет управлять всеми занятиями сразу.

Система управления абонементом работает на основе таблицы «Абонементы». Эта таблица связана с каждым учеником (через `student_id`) и содержит общее количество оплаченных занятий (`total_lessons`) и уже использованных (`used_lessons`). Когда новый ученик приобретает абонемент, система сразу создает запись в этой таблице. После проведения каждого урока значение `used_lessons` увеличивается на 1. При равенстве этого значения с `total_lessons` абонемент считается использованным, и появляется окно с напоминанием об оплате. Это позволяет преподавателю в любой момент узнать, сколько оплаченных занятий осталось и когда поступит следующая оплата.

Таблица «Финансы» содержит истории оплат занятий. В ней записаны сумма, дата платежа, ссылки на ученика и соответствующий урок. Эта таблица позволяет отследить заработанную сумму за определенный период. Это обеспечивает прозрачность финансов и помогает легко вычислить сумму, которую надо оплатить в качестве налога. В рамках этой работы эта функция подробно не рассматривается, поскольку статья посвящена преимущественно организации учебного процесса.

Разработанный программный комплекс «Ассистент преподавателя внеклассной работы» апробирован путем опытной эксплуатации при сопровождении обучения в группе педагогов на 20 учениках. Программный комплекс обеспечил генерацию расписания занятий для каждого обучаемого с учетом пожеланий и возможностей репетитора, учет и контроль выполнения индивидуальных заданий и работ, рассылку контрольных вопросов и замечаний по выполненным работам.

Результаты апробации программного комплекса позволяют сделать вывод о его применимости в работе педагога. Отзывы преподавателей положительные и свидетельствуют о том, что процесс работы автоматизирован и во многом упростился в плане обеспечения коммуникации «преподаватель-ученик».

Таким образом, разработанный программный комплекс «Ассистент преподавателя внеклассной работы» представляет собой решение, которое может автоматизировать основные организационные задачи педагога.

Литература

- [1]. Шилова О.Н. Цифровая образовательная среда: педагогический взгляд // Человек и образование. 2020. №20 (63). С. 36-42.
- [2]. Селяков М.А. Трехуровневая архитектура микросервиса в ASP.NET // Вестник науки. 2020. №4 (25) Т.1. С.76-81.
- [3]. Петер Пин-Шен Чен. Модель «сущность-связь» – шаг к единому представлению о данных // журнал «Системы управления базами данных». Текст : электронный // URL: <https://citforum.ru/database/classics/chen/> (дата обращения: 13.03.2026).

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ ДАННЫХ И ИХ РОЛЬ В ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Современное управление проектами сопряжено с обработкой больших объемов данных: календарные графики, бюджет, ресурсы, риски. Руководитель ежедневно принимает решения в условиях неопределенности, но традиционные таблицы статичны и затрудняют анализ взаимосвязей. Визуализация данных позволяет преобразовать цифры в наглядные образы, доступные для быстрого восприятия [4]. Грамотно построенная визуальная модель не только экономит время, но и помогает обнаружить скрытые закономерности и своевременно идентифицировать риски [1]. Поэтому следует уделить особое внимание анализу методов визуализации проектных данных и определению их роли в поддержке принятия решений.

В управлении проектами визуализация применяется для отображения сроков, ресурсов, рисков, финансов и прогресса работ. Основные методы представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные методы визуализации в управлении проектами

Тип визуализации	Назначение	Область применения
Диаграмма Ганта	Отображение сроков задач, последовательности, параллельного выполнения, критических путей	Планирование работ, контроль сроков
Пузырьковая диаграмма	Сравнение проектов или сценариев до двум-трем параметрам	Портфельный анализ, приоритизация рисков
Торнадо-диаграмма	Ранжирование факторов по степени влияния на результат	Анализ чувствительности, оценка рисков
Гистограмма распределения	Отображение вероятностей различных исходов	Количественная оценка рисков, прогнозирование
Диаграмма сгорания задач	Отслеживание объема оставшейся работы относительно времени	Гибкие методологии, ежедневный контроль

Диаграмма Ганта является классическим инструментом планирования [1]. Задачи показаны горизонтальными отрезками на временной оси, зависимости – стрелками. Она наглядно демонстрирует критический путь, параллельное выполнение и возможные задержки. Главный недостаток – перегруженность при большом числе связей.



Рисунок 1 – Пример диаграммы Ганта

Пузырьковая диаграмма удобна для сравнения проектов или рисков по нескольким измерениям одновременно: ось X – вероятность риска, ось Y – ущерб, размер пузырька – бюджет или влияние.

Торнадо-диаграмма ранжирует факторы риска или влияния по степени их воздействия на ключевой показатель проекта. Наиболее значимые факторы размещаются в верхней части графика, где горизонтальные полосы имеют максимальную длину в обе стороны от центральной оси, а ниже влияние уменьшается, формируя характерное сужение вниз.

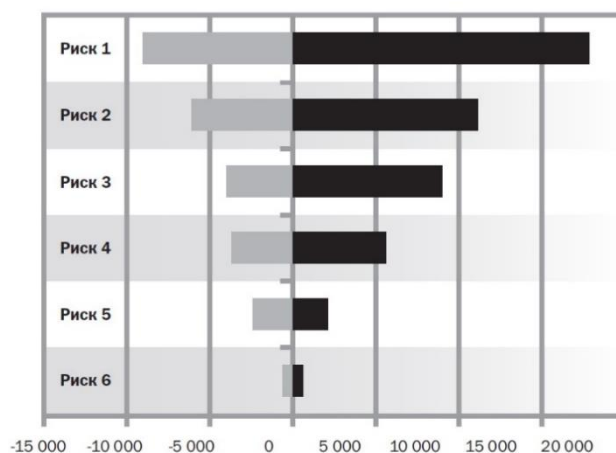


Рисунок 2 – Пример торнадо-диаграммы для анализа рисков

Гистограмма распределения (результат Монте-Карло) заменяет точечную оценку вероятностной: вместо «завершение через 100 дней» – распределение с доверительными интервалами (например, 60% вероятность укладки в 100-120 дней) [2,3].



Рисунок 3 – Пример диаграммы сгорания задач

Диаграмма сгорания задач широко используется в гибких подходах к разработке. Показывает, как уменьшается остаток работы день за днём. Отклонение от идеальной линии сигнализирует о проблемах.

Эффективность визуализации во многом зависит от того, для какой аудитории она предназначена и какие задачи решает. В таблице 2 представлено соответствие типов визуализации ролям участников проектной деятельности.

Таблица 2 – Соответствие типов визуализации ролям участников проекта

Роль	Приоритетные виды визуализации	Основные задачи
Руководитель проекта	Диаграмма Ганта, торнадо-диаграмма, дашборд KPI	Контроль сроков, рисков, отклонений бюджета
Команда проекта	Диаграмма сгорания задач, доска задач	Оперативное планирование, отслеживание прогресса
Заказчик	Пузырьковая диаграмма, свободный дашборд	Общая картина портфеля, ключевые показатели

Сегодня наиболее востребованы интерактивные дашборды – единые цифровые панели, автоматически собирающие данные из разных источников (Jira, 1C, MS Project, Excel и др.). Их преимущества: обновление в реальном времени; единое окно всей информации; возможность детализации; цветовое выделение зон риска (красный/жёлтый/зелёный); сокращение времени на анализ в 2-5 раз.

Пример: руководитель видит на торнадо-диаграмме, что ключевой риск – нехватка разработчика пользовательского интерфейса. После моделирования найма дополнительного сотрудника новая гистограмма Монте-Карло показывает

снижение вероятности срыва с 40% до 15% [2]. Без визуализации проблема могла быть обнаружена слишком поздно.

Для максимальной пользы визуализация должна отвечать следующим принципам:

- лаконичность – не более 5-7 ключевых элементов на одном графике;
- понятность – интуитивное восприятие, чёткие подписи осей и легенда;
- честность – отсутствие искажения масштаба (ось Y от нуля);
- уместность – соответствие типа графика характеру данных;
- интерактивность – фильтры, зум, смена ракурсов [4].

Визуализация данных в управлении проектами – это не декоративный элемент отчётности, а мощный инструмент поддержки решений. Она снижает когнитивную нагрузку, ускоряет выявление проблем и улучшает понимание взаимосвязей в условиях неопределённости, особенно характерной для ИТ-проектов [1]. Наиболее эффективны:

- диаграмма Ганта – для сроков и зависимостей;
- торнадо-диаграммы и гистограммы Монте-Карло – для рисков;
- пузырьковые диаграммы и дашборды – для портфельного управления.

Таким образом, переход от статичных отчётов к интерактивным дашбордам способен повысить оперативность реагирования и качество решений, а результаты проведенного сравнительного анализа могут оказаться полезными при выборе и настройке ПО для управления проектами (MS Project, Jira, Kaiten, Power BI и др.), а также в образовательных программах по подготовке проектных менеджеров.

Литература

- [1]. Киселев С.К., Шикина В.Е. Способы представления информации: учебное пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2022. 124 с.
- [2]. Колычев В.Д. Программная реализация визуальных моделей управления проектами // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 278–284.
- [3]. Раменская А.В., Пивоварова К.В. Метод Монте-Карло и инструментальные средства его реализации: методические указания. Оренбург: Оренбургский гос. ун-т, 2018. 58 с. URL: <https://elibrary.ru/bitstream/123456789/13201/1/Раменская.pdf> (дата обращения: 09.03.2026).
- [4]. Юрина Е.В. Особенности использования метода Монте-Карло в качестве метода оценки инвестиционного проекта // Вестник науки и образования. 2017. № 5 (29). С. 329–333. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-metoda-monte-karlo-v-kachestve-metoda-otsenki-investitsionnogo-proekta> (дата обращения: 10.03.2026).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ

Стремительное развитие цифровой среды и внедрение информационных технологий усиливают значение кибербезопасности для устойчивого функционирования государства и общества. Рост объёмов обрабатываемых данных сопровождается увеличением рисков киберугроз и несанкционированного доступа к информации.

По данным МВД России, преступления с использованием информационно-телекоммуникационных технологий занимают значительную долю общей преступности. За первые одиннадцать месяцев 2025 года их доля составила около 38,2 % всех зарегистрированных преступлений [1].

В этих условиях государственные структуры и организации реализуют меры по повышению защищённости киберпространства. К наиболее распространённым угрозам относятся вредоносные программы, фишинговые ресурсы и DDoS-атаки. Для снижения рисков необходимо соблюдение ключевых условий информационной безопасности, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Основные условия кибербезопасности

Безопасность приложений	Безопасность приложений направлена на защиту данных и кода от несанкционированного доступа на протяжении всего жизненного цикла приложения.
Информационная безопасность	Цель информационной безопасности – обеспечение конфиденциальности, целостности и доступности данных.
Сетевая безопасность	Сетевая безопасность – комплекс мер по защите локальной сети и подключённых к ней устройств.
Планирование аварийного восстановления / обеспечения непрерывности бизнеса	План непрерывности бизнеса – набор документов для поддержания и восстановления бизнес-процессов при чрезвычайных ситуациях.
Операционная безопасность	Меры по защите общедоступной информации компании от раскрытия критически важных данных.
Обучение конечных пользователей	Обучение пользователей новым процессам системы способствует предотвращению некоторых киберугроз.
Стабильность факторов, зависящих от политической обстановки	В условиях санкций и политической нестабильности возрастают риски мошенничества, а также ограничения деятельности компаний, работающих в сфере кибербезопасности.

С 2015 года Международный союз электросвязи при поддержке ООН публикует глобальный индекс кибербезопасности (GCI), оценивающий уровень защищённости цифрового пространства в 193 странах. Индекс учитывает законодательные, технические, организационные, образовательные и международные аспекты.

Глобальный индекс кибербезопасности принимает значения от 0 до 1 и характеризует уровень развития национальной системы информационной безопасности.

По данным отчёта Global Cybersecurity Index 2024, лидерами рейтинга являются США, Великобритания, Сингапур и Южная Корея; среди европейских стран – Финляндия, Нидерланды и Франция [2]. Россия входит в число двадцати пяти стран с наивысшими значениями индекса.

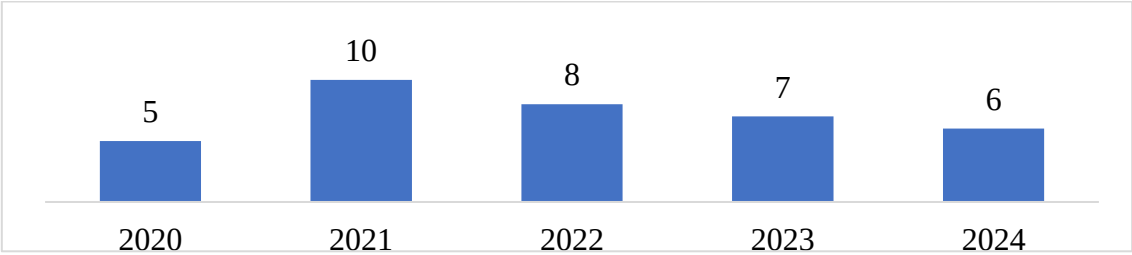


Рисунок 1 – Место России в рейтинге глобального индекса кибербезопасности по годам в период 2020-2024 гг.

В 2020 году существенность глобального индекса кибербезопасности в России составляло 0,845. В последующие годы показатель застабилизировался и к 2024 году вырос до 0,893.

Для анализа факторов, воздействующих на уровень кибербезопасности, построена множественная регрессионная модель, где результативным признаком выступает показатель I1 – Global Cybersecurity Index (GCI 2024) [2], а факторными переменными – показатели I2–I6. Их характеристика приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика используемых показателей

Обозначение	Показатель	Содержание показателя
I1	Global Cybersecurity Index (GCI 2024), %	Интегральный показатель уровня кибербезопасности страны
I2	Индекс онлайн-услуг	Уровень развития цифровых государственных сервисов
I3	EGDI 2024	Индекс развития электронного правительства
I4	Доля использования облачных сервисов, %	Распространённость облачных технологий
I5	Показатель цифровизации бизнеса, %	Уровень внедрения цифровых технологий в предпринимательской деятельности
I6	Показатель цифровой инфраструктуры, %	Развитие телекоммуникационной и интернет-инфраструктуры

Проведён корреляционный анализ между результативным показателем I1 и факторами I2–I6. Преимущественно плотной связи прослеживается между I1 и I2 ($r = 0,826$) и I1 и I4 ($r = 0,769$), тогда как I3, I5 и I6 указывают допустимую корреляцию. Высокая корреляция между I4 и I5 ($r = 0,926$) указывает на мультиколлинеарность, поэтому показатель I5 исключён из моделирования.

Таким образом, исходя из проведённого корреляционного анализа установлено, что наибольшую связь с результативным признаком I1 имеет показатель I2. Следовательно, для анализа зависимости глобального индекса кибербезопасности допустимо строение следующих регрессионных моделей:

Парной линейной регрессии: $I_1 = a_0 + a_1 I_2$;

Множественной линейной регрессии: $I_1 = a_0 + a_1 I_2 + a_2 I_3 + a_3 I_4 + a_4 I_6$.

Оценка параметров моделей выполнена методом наименьших квадратов.

Модель 1 – парная линейная регрессия, где факторным признаком выступает показатель I2 (индекс онлайн-услуг), имеющий наибольшую корреляцию с I1.

Уравнение модели имеет вид:

$$I1 = 71,38 + 0,334 I2$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,683$ показывает, что около 68 % вариации индекса кибербезопасности объясняется уровнем развития онлайн-услуг; модель статистически значима по F-критерию. При увеличении I2 на одну единицу индекс кибербезопасности возрастает на 0,334 единицы.

Модель 2 – множественная линейная регрессия с факторами I2, I3, I4 и I6.

Уравнение модели имеет вид:

$$I1 = 80,09 + 0,220 I2 - 0,130 I3 + 0,166 I4 + 0,030 I6$$

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,777$ указывает на более высокую объясняющую способность модели. Модель статистически значима ($F = 9,60$; $p = 0,001$). Значимым фактором является показатель I2 ($p < 0,05$), тогда как влияние I3, I4 и I6 не подтверждено.

Таким образом, наибольшее влияние на уровень кибербезопасности оказывает развитие онлайн-услуг.

Таблица 3 – Результаты регрессионного моделирования

Модель	Факторные признаки	Уравнение регрессии	R^2	F	Значимость F
Модель 1 (парная)	I2	$I1 = 71,38 + 0,334 I2$	0,683	30,12	< 0,001
Модель 2 (множественная)	I2, I3, I4, I6	$I1 = 80,09 + 0,220 I2 - 0,130 * I3 + 0,166 I4 + 0,030 I6$	0,777	9,60	0,001

По результатам регрессионного анализа построены модели зависимости глобального индекса кибербезопасности I1 от цифровых показателей.

Парная модель №1 использует фактор I2 (индекс онлайн-услуг; $R^2 = 0,683$), множественная модель №2 включает показатели I2, I3, I4 и I6 ($R^2 = 0,777$). Анализ по t-критерию показал статистическую значимость показателя I2, тогда как влияние I3, I4 и I6 не подтверждено.

Таким образом, наибольшее влияние на уровень кибербезопасности оказывает развитие онлайн-услуг. Точность моделей оценивается по ошибке аппроксимации.

Ошибка аппроксимации рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \cdot 100\%,$$

где

y_i – фактическое значение результативного признака;

$\hat{y}_i$ – значение результативного признака, рассчитанное по регрессионной модели; n – число наблюдений.

Ошибка аппроксимации составляет 3,83 % для парной и 3,36 % для множественной модели, что подтверждает высокую точность моделей. Сопоставление фактических и модельных значений представлено на рисунках 2 и 3.

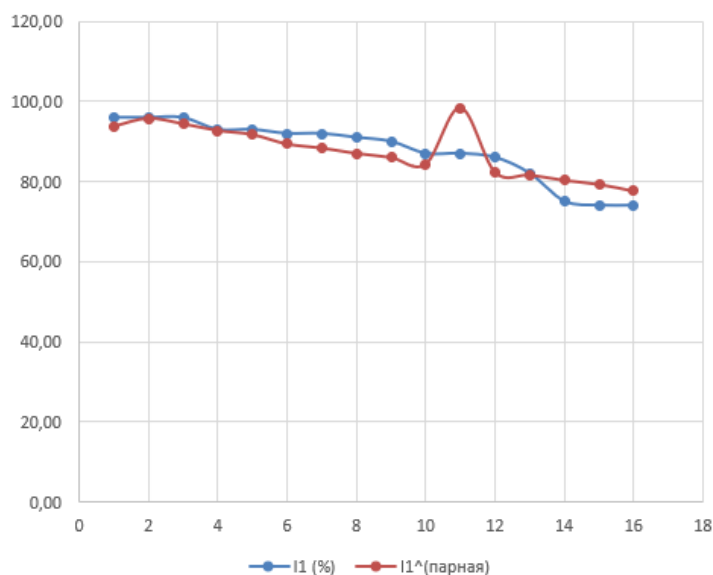


Рисунок 2 – Сопоставление фактических и модельных значений (парная модель)

Близость модельных и фактических значений подтверждает адекватность моделей. Построена регрессионная модель зависимости GDP на душу населения от индекса кибербезопасности, позволяющая оценить значение уровня кибербезопасности на экономическое развитие стран.

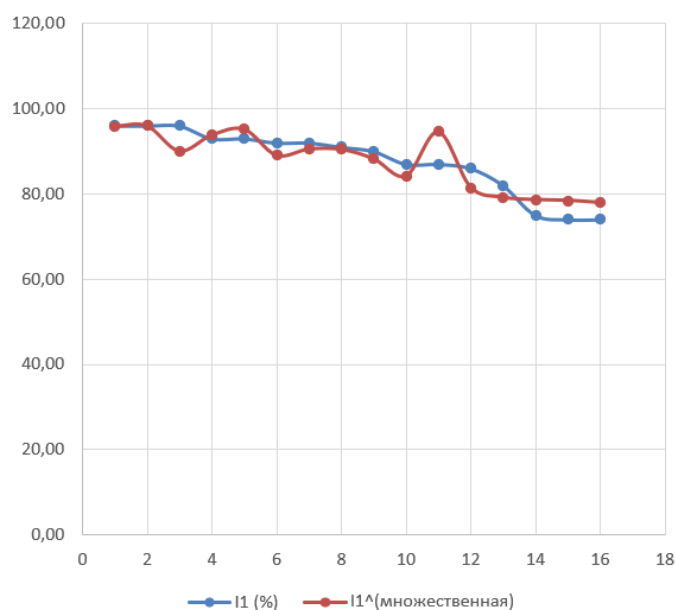


Рисунок 3 – Сопоставление фактических и модельных значений (множественная модель)

Таблица 4 – Результаты моделирования (модель №4)

Модель №4	Коэффициент корреляции	F-критерий Фишера	Ошибка аппроксимации
$GDP = -93752,6 + 1513,99 \cdot I_1$	$r = 0,54$ – связь умеренная	$F = 5,48$ – уравнение значимо	$A \approx 4,5 \%$ – модель подобрана удовлетворительно

В модели №4 выявлена статистически значимая зависимость между глобальным индексом кибербезопасности и массовым внутренним продуктом на душу населения (GDP per capita). Регрессионное уравнение имеет вид:

$$GDP = -93752,6 + 1513,99 \cdot I_1$$

Коэффициент корреляции показывают на умеренную связь между уровнем кибербезопасности и экономическим улучшением; модель статистически значима по F-критерию. Рост индекса кибербезопасности на одну единицу сопровождается увеличением GDP на душу населения в среднем на 1514 долларов.

Корреляционный анализ и регрессионное моделирование показали, что наибольшее влияние на глобальный индекс кибербезопасности оказывает уровень развития онлайн-услуг. Также обнаруженная относительная положительная связь между индексом кибербезопасности и GDP на душу населения.

Полученные результаты подтверждают значимость цифровизации и кибербезопасности для социально-экономического развития стран.

Литература

- [1]. Индикаторы цифровой экономики 2025 : статистический сборник / Минцифры России, Росстат, НИУ ВШЭ. – М., 2025. – URL: <https://issek.hse.ru/mirror/pubs/share/1026726402.pdf> (дата обращения: 18.03.2026). Режим доступа: для всех пользователей.
- [2]. United Nations. E-Government Survey 2024: Accelerating Digital Transformation for Sustainable Development. – URL: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2024> (дата обращения: 18.03.2026). Режим доступа: для всех пользователей.

*Я.В. Сырченков, студ.; А.И. Гаврилов, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА: ГОТОВЫЕ CMS ПРОТИВ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ

Рост онлайн-продаж (10-15% в год) сопровождается ростом числа интернет-магазинов. При их создании разработчик выбирает между готовой CMS и собственной разработкой. Актуальность темы определяется недостатком ясных критериев выбора у бизнеса. Готовые CMS ускоряют разработку, но усложняют разработку под специфичные задачи. Собственная разработка требует ресурсов, но позволяет точно реализовать все функции. Объектом исследования является процесс разработки веб-приложений для электронной коммерции, а предметом – методы их создания, а именно использование готовых CMS и собственная разработка. Цель работы состоит в сравнении этих подходов и выработке практических рекомендаций. Гипотеза исследования заключается в том, что собственная разработка точнее подходит для специфических задач бизнеса, тогда как CMS лучше использовать для типовых решений. Для достижения цели необходимо выделить требования к интернет-магазину, проанализировать популярные CMS (OpenCart, WooCommerce), рассмотреть процесс собственной разработки, сравнить подходы и сформулировать рекомендации. В работе используются методы анализа, сравнения и моделирования [1].

Чтобы корректно сравнить выбранные подходы, необходимо прежде всего определить, каким требованиям должен отвечать современный интернет-магазин. Для этого проанализируем состав его потенциальных пользователей. Можно выделить три категории: неавторизованные посетители (гости), зарегистрированные покупатели (клиенты) и администраторы (работники). Именно их потребности формируют тот набор функций, который станет основой для дальнейшей оценки. Эти категории представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Типовые функциональные требования к интернет-магазину

Функциональная возможность	Гость	Покупатель	Администратор
Просмотр каталога товаров	Да	Да	Да
Поиск и фильтрация товаров	Да	Да	Да
Просмотр отзывов и рейтингов	Да	Да	Да
Добавление отзывов	Нет	Да	Нет

Функциональная возможность	Гость	Покупатель	Администратор
Добавление товаров в корзину	Да	Да	Нет
Оформление заказа	Нет	Да	Нет
Просмотр истории заказов	Нет	Да	Да
Управление профилем	Нет	Да	Нет
Управление товарами	Нет	Нет	Да
Управление заказами	Нет	Нет	Да
Модерация отзывов	Нет	Нет	Да
Просмотр статистики продаж	Нет	Нет	Да
Управление пользователями	Нет	Нет	Да

Данный набор функций является минимально необходимым для функционирования современного интернет-магазина.

Под термином CMS понимаются готовые программные решения, предоставляющие базовый функционал для управления содержимым веб-сайта. Наиболее распространёнными бесплатными решениями для электронной коммерции являются OpenCart – специализированная CMS для интернет-торговли, включающая управление товарами, категориями, заказами, покупателями, а также базовую статистику и систему отзывов, и WooCommerce – плагин для WordPress, отличающийся гибкостью и большим количеством расширений. К преимуществам готовых CMS относятся высокая скорость развёртывания (запуск проекта возможен в течение дней), низкая стоимость (большинство CMS бесплатны), наличие активного сообщества и готовых расширений для типовых задач. Однако у этого подхода есть и серьёзные недостатки: избыточность кода и, как следствие, снижение производительности и появление уязвимостей; ограниченная гибкость, при которой реализация специфичного функционала требует сложной модификации ядра системы; зависимость безопасности и стабильности сайта от разработчиков CMS и их обновлений; а также сложность кастомизации административного интерфейса.

Альтернативой является собственная разработка, которая подразумевает создание интернет-магазина «с нуля» с использованием языков программирования (PHP, Python, Java и др.) и систем управления базами данных (MySQL, PostgreSQL и др.). Главные преимущества этого подхода – полное соответствие готового продукта требованиям заказчика, гибкость в настройке прав доступа, отсутствие потенциально опасных сторонних модулей и лицензионных ограничений. К недостаткам можно отнести высокую стоимость и длительное время разработки, повышенные требования к квалификации команды и необходимость самостоятельной поддержки и развития проекта. При создании интернет-магазина с нуля важнейшим этапом является проектирование базы данных. Согласно рекомендациям по проектированию реляционных баз

данных, типовая структура включает следующие таблицы: Users (информация о пользователях), Categories (категории товаров), Products (товары), Reviews (отзывы), Carts (корзины), Cart_Items (товары в корзине), Orders (заказы), Order_Items (состав заказа), Payments (информация об оплатах). Данная структура обеспечивает хранение всей необходимой информации и позволяет формировать различные статистические отчёты. Приложение строится по классической трёхзвенной архитектуре: клиентская (интерфейс), серверная часть (бизнес-логика, обработка запросов, проверка прав доступа и валидация) [2], уровень данных обеспечивает хранение и выборку информации [3]. Административная панель в такой архитектуре доступна только пользователям с соответствующей ролью.

Для наглядного сравнения рассмотренных подходов составлена таблица 2.

Таблица 2 – Сравнение подходов к разработке интернет-магазина

Критерий	Готовые CMS	Собственная разработка
Скорость запуска	Высокая (дни - недели)	Низкая (недели - месяцы)
Стоимость разработки	Низкая	Высокая
Соответствие требованиям	Частичное (требуется доработка)	Полное
Гибкость	Ограничена конкретной CMS	Полная
Безопасность	Зависит от CMS	Под своим контролем
Производительность	Средняя (универсальный код)	Высокая (оптимальный код)
Масштабирование	Ограничено CMS	Под задачи
Требования к квалификации	Низкие или средние, зависит от конкретной CMS	Высокая (разработка и поддержка)
Зависимость от вендора	Высокая	Отсутствует

Количественное сравнение подходов по ключевым параметрам представлено на диаграмме. Данные основаны на анализе рыночных предложений и средних показателей по отрасли (рис. 1).

На основе проведённого анализа можно сформулировать практические рекомендации. Готовые CMS стоит использовать, когда требуется быстрый запуск проекта при ограниченном бюджете, функциональные требования являются типовыми и полностью покрываются возможностями системы, отсутствует необходимость в уникальной бизнес-логике, а проект не предполагает экстремально высоких нагрузок. Собственная разработка становится предпочтительным выбором в иных условиях: когда требования

специфичны и не могут быть реализованы стандартными средствами; планируется долгосрочное развитие проекта с уникальным функционалом; необходима полная интеграция с существующими информационными системами; прогнозируются высокие нагрузки, требующие тонкой оптимизации; в распоряжении имеется команда квалифицированных разработчиков; и, наконец, когда проект рассматривается как стратегический актив, требующий полного контроля над кодовой базой.

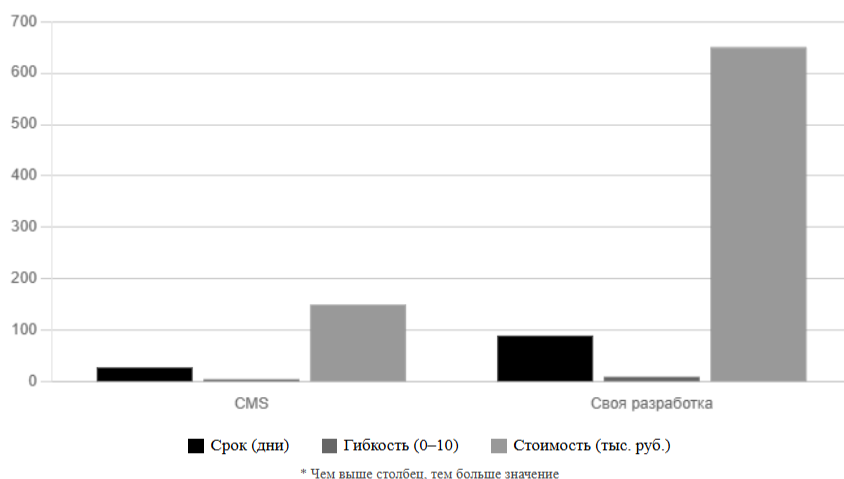


Рис. 1. Сравнение подходов по ключевым параметрам

Таким образом, сравнительный анализ показал, что готовые CMS, такие как OpenCart и WooCommerce, позволяют быстро запустить проект, но накладывают ограничения на его развитие. Собственная разработка требует значительных временных и кадровых ресурсов, но взамен даёт полный контроль над функционалом, производительностью и безопасностью. Выдвинутая гипотеза подтверждена: оптимальный выбор подхода напрямую зависит от конкретных условий и стратегических целей проекта, а также от того, на какие категории пользователей ориентирован магазин и какие функции для них приоритетны. Полученные результаты могут быть полезны при проектировании и выборе архитектуры для новых интернет-магазинов.

Литература

- [1]. Крючкова В.В. Основы научно-исследовательской деятельности: курс лекций / В.В. Крючкова; Донской ГАУ. – Персиановский: Донской ГАУ, 2018. – 212 с.
- [2]. Котеров Д.В. РНР 7: руководство к применению / Д.В. Котеров. – М.: BHV, 2021. – 432 с.
- [3]. Советов Б.Я. Базы данных: учебник для вузов / Б.Я. Советов. – М.: Юрайт, 2020. – 463 с.

ИНТЕГРАЦИЯ ETL-ПРОЦЕССОВ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

В условиях цифровой трансформации организаций возрастает роль данных как одного из ключевых ресурсов управления. Современные предприятия используют большое количество информационных систем, генерирующих значительные массивы данных о производственных процессах, финансовой деятельности и взаимодействии с клиентами. Для принятия обоснованных управленческих решений требуется не только накопление данных, но и их структурирование, интеграция и последующий анализ. В этой связи широкое распространение получили системы бизнес-аналитики (Business Intelligence), позволяющие преобразовывать данные в аналитическую информацию, пригодную для использования руководством организации [1].

Формирование аналитической среды предприятия предполагает объединение данных, поступающих из различных источников. Как отмечает В. М. Вейцман, корпоративные информационные системы могут содержать разрозненные данные, отличающиеся по структуре, формату и степени актуальности, что требует применения специализированных механизмов интеграции данных [2]. В практике построения хранилищ данных данная задача решается с использованием процессов ETL (Extract, Transform, Load), которые обеспечивают извлечение информации из источников, её преобразование и загрузку в аналитические структуры.

Процесс извлечения данных заключается в получении информации из различных информационных систем предприятия, включая транзакционные базы данных, системы управления взаимоотношениями с клиентами, системы планирования ресурсов предприятия и иные источники. На данном этапе важно обеспечить корректное извлечение информации без нарушения работы исходных систем. Как отмечает Р. Кимбалл, процессы интеграции данных должны строиться таким образом, чтобы минимизировать нагрузку на операционные системы предприятия и обеспечить стабильность их функционирования [3].

Существенное значение в ETL-процессах имеет этап преобразования данных. На данном этапе выполняется очистка данных, устранение дублирования, согласование форматов и преобразование структур. Подобные операции необходимы для обеспечения сопоставимости информации, поступающей из различных источников. По мнению М. Голфарелли и С. Рицци, именно этап трансформации определяет качество будущей аналитической информации, поскольку ошибки на этом этапе могут привести к искажению результатов анализа [4].

Подготовленные данные загружаются в аналитическую инфраструктуру предприятия, в рамках которой формируется единая модель данных. В

современных архитектурах аналитических систем часто используется корпоративный слой данных (Corporate Data Model, CDM), представляющий собой логически согласованную структуру хранения информации. Использование подобного слоя позволяет стандартизировать представление данных и обеспечить единые правила их использования различными аналитическими инструментами. Основываясь на концепциях построения хранилищ данных, можно отметить, что наличие централизованной модели данных способствует повышению согласованности аналитической информации и снижает риск возникновения противоречивых показателей в различных отчётах [3].

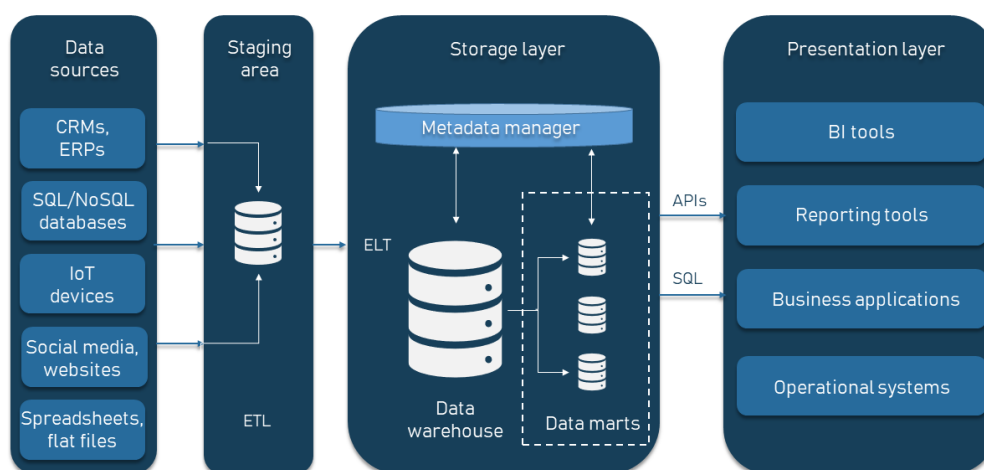


Рис. 1. Архитектура интеграции данных в аналитической системе

После подготовки и интеграции данные становятся доступными для инструментов бизнес-аналитики. BI-системы предоставляют средства визуализации данных, позволяющие формировать аналитические панели и отчёты. Такие системы обеспечивают интерактивное представление информации, позволяя пользователям выполнять анализ показателей деятельности предприятия, выявлять тенденции и оперативно реагировать на изменения внешней и внутренней среды организации. Как отмечает В. Г. Николаенко, системы поддержки принятия решений, основанные на аналитической обработке данных, позволяют существенно повысить обоснованность управленческих решений и снизить уровень неопределённости в процессе управления [5].

Современные BI-платформы, такие как Power BI и Tableau, обеспечивают широкие возможности визуализации данных. Они позволяют формировать интерактивные панели мониторинга, включающие графики, диаграммы и таблицы, отражающие ключевые показатели деятельности организации. Использование подобных инструментов способствует более наглядному представлению информации и облегчает восприятие аналитических данных руководителями и специалистами. В работах по проектированию информационных систем отмечается, что визуализация данных является важным элементом аналитической инфраструктуры предприятия, поскольку она

обеспечивает быстрое выявление закономерностей и отклонений в анализируемых показателях [2].

Интеграция ETL-процессов и инструментов бизнес-аналитики формирует единую аналитическую среду организации. В такой архитектуре данные последовательно проходят этапы извлечения, преобразования и загрузки, после чего используются для формирования аналитических отчётов и панелей мониторинга. Данный подход позволяет обеспечить единый источник достоверной информации для различных подразделений предприятия и повысить прозрачность управленческих процессов.

Важным аспектом функционирования аналитических систем является обеспечение согласованности и достоверности данных, используемых для анализа. В условиях использования большого количества информационных систем предприятие сталкивается с проблемой фрагментированности данных. Отдельные подразделения могут использовать различные базы данных и программные продукты, что приводит к появлению несогласованных показателей и затрудняет формирование единой картины деятельности организации. Использование централизованной архитектуры обработки данных позволяет устранить подобные противоречия и обеспечить единый источник аналитической информации.

Одним из ключевых преимуществ применения ETL-процессов является возможность автоматизации обработки данных. В традиционных подходах подготовка отчётности часто выполняется вручную с использованием электронных таблиц, что увеличивает вероятность возникновения ошибок и требует значительных временных затрат. Автоматизация интеграции данных позволяет значительно сократить время подготовки аналитической информации и повысить её точность. В научной и практической литературе отмечается, что внедрение централизованных хранилищ данных и процессов интеграции данных позволяет сократить время формирования управленческой отчётности в несколько раз [1].

Кроме того, применение ETL-процессов способствует повышению качества данных. В процессе трансформации выполняются операции проверки корректности значений, стандартизации форматов и устранения дублирующихся записей. Это особенно важно в ситуациях, когда данные поступают из различных систем, использующих разные правила хранения информации. Очистка и нормализация данных позволяют повысить достоверность аналитических результатов и снизить вероятность принятия управленческих решений на основе некорректной информации.

Использование корпоративной модели данных также способствует формированию единого понятийного пространства внутри организации. В различных подразделениях предприятия одни и те же показатели могут трактоваться по-разному. Например, показатели выручки или объёма продаж могут рассчитываться с использованием различных методик. Формирование централизованной модели данных позволяет определить единые правила расчёта

показателей и обеспечить их единообразное использование во всех аналитических отчётах.

Значительную роль в повышении эффективности аналитических систем играет визуализация данных. Графическое представление информации позволяет значительно ускорить процесс анализа и облегчает восприятие сложных аналитических показателей. Как отмечается в исследованиях по бизнес-аналитике, человек воспринимает визуальную информацию значительно быстрее текстовой, что делает графики и диаграммы эффективным инструментом анализа данных [4].

Использование аналитических панелей мониторинга позволяет руководителям организации получать актуальную информацию о ключевых показателях деятельности в режиме, близком к реальному времени. Это особенно важно для оперативного управления бизнес-процессами и своевременного реагирования на изменения внешней среды.

Интерактивные возможности современных BI-систем позволяют пользователям самостоятельно проводить анализ данных без необходимости обращения к специалистам по информационным технологиям. Пользователь может изменять параметры анализа, выбирать интересующие временные интервалы и детализировать показатели до уровня отдельных подразделений или продуктов. Подобные возможности делают аналитические инструменты доступными для широкого круга пользователей и повышают эффективность использования данных в управлении организацией.

Таким образом, интеграция ETL-процессов, корпоративной модели данных и инструментов визуализации формирует комплексную аналитическую инфраструктуру предприятия. Использование данной инфраструктуры позволяет обеспечить единое информационное пространство, повысить достоверность аналитических данных и улучшить качество принимаемых управленческих решений.

Практическое значение подобной архитектуры заключается в сокращении времени подготовки аналитической информации и повышении её достоверности. Руководители получают возможность оперативно отслеживать ключевые показатели деятельности организации и принимать решения на основе актуальных данных. Интеграция ETL-процессов и BI-инструментов способствует повышению эффективности управления и развитию корпоративных информационных систем.

Литература

- [1]. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Анализ данных и процессов: учебное пособие. – СПб.: БХВ-Петербург, 2009. – 512 с. – С. 40–45.
- [2]. Вейцман В. М. Проектирование информационных систем: учебное пособие. – 2-е изд. – СПб.: Лань, 2022. – 316 с. – С. 115–120, 185–190.
- [3]. Кимбалл Р., Росс М. Хранилища данных. Полное руководство. – М.: Вильямс, 2013. – 768 с. – С. 60–65, 115–120.
- [4]. Голфарелли М., Рицци С. Проектирование хранилищ данных. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 304 с. – С. 88–95.
- [5]. Николаенко В. Г. Угрозы информационной безопасности в системах поддержки принятия решений // Достижения науки и образования. – 2016. – №12 (13). – С. 23–24.

АДАПТИВНЫЙ ИЕРАРХИЧЕСКИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ИНДЕКСА УГРОЗ

Строительная отрасль все больше зависит от цифровых технологий: BIM-моделирование, системы управления проектами, ERP-системы, геодезические данные, IoT-датчики на объектах. Утечка, недоступность или повреждение такой информации может привести к серьезным финансовым потерям, срыву сроков и репутационным рискам. Эта проблема усугубляется на фоне отмечаемого в отчетах Positive Technologies за 2020–2025 гг. устойчивого роста целевых атак на промышленные и инфраструктурные объекты, включая строительный сектор [1]. В условиях ограниченных ресурсов на обеспечение безопасности возникает необходимость объективного инструмента, позволяющего ранжировать весь парк информационных систем (ИС) по уровню защищенности и выстраивать приоритеты по их усилению.

Классические подходы к кластеризации оказываются недостаточно гибкими для условий строительной отрасли, где ИС существенно различаются по функциям, архитектуре и регуляторному статусу [2]. Большинство методов либо опираются на усреднение показателей и тем самым не учитывают критичную важность отдельных параметров (например, соответствие отраслевым требованиям ГОСТ Р 57580 или наличие параметров, связанных с аварийной безопасностью), либо требуют априорного выбора числа кластеров. Последнее особенно проблематично в задачах оценки безопасности, где попытка заранее определить количество групп может приводить к субъективности и потере содержательной интерпретируемости [3, 4].

Предлагаемый метод сочетает идеи иерархической кластеризации и адаптивного порогового анализа, основанного на композитном индексе угроз (КИУ). Он позволяет последовательно строить структуру кластеров, не фиксируя их количество заранее, а также выделять объекты с экстремальными значениями ключевых параметров без «размывания» их значимости усреднением.

Оценка начинается с формирования признакового пространства. Для каждой ИС оценивается набор критериев, отражающих специфику рисков в строительстве. В отличие от простой балльной оценки, критерии группируются по природе угроз:

- формальный регуляторный статус (F) – категориальный признак (3 – ГИС/КИИ; 2 – ИС, подпадающая под 152-ФЗ (персональные данные); 1 – коммерческая ИС без прямого регуляторного давления);
- интегральная уязвимость (I) – рассчитывается на основе данных о количестве и критичности уязвимостей (CVSS) в компонентах ИС, нормированная на сложность системы (1-10).

- воздействие на аварийность (A) – оценка последствий отказа или компрометации ИС для физической безопасности на объекте (шкала 1-10);
- коммерческая чувствительность данных (C) – ценность обрабатываемой информации для конкурентов (шкала 1-10);
- регуляторная значимость данных (R) – тяжесть последствий утери данных для соблюдения отраслевых норм по шкале 1-10.

Получив формализованное описательное пространство, осуществляется переход ко второму этапу – вычислению композитного индекса угроз. Для каждой ИС вычисляется агрегированный показатель, который отражает не среднюю, а стрессовую оценку риска и построен по принципу «слабого звена», где наиболее критичный показатель влияет на итоговую оценку сильнее остальных:

$$\text{КИУ}_i = \max(F_i * \alpha, I_i * \beta, A_i * \gamma) + (C_i + R_i) * \delta,$$

где $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – весовые коэффициенты, причем $\alpha, \gamma \gg \beta, \delta$.

Это отражает логику, что система не может считаться защищенной, если проваливается по формальному статусу (F) или аварийному воздействию (A), даже при высоких остальных показателях. Первое слагаемое определяет базовый уровень критичности, второе – дополнительный риск, связанный с данными.

Непосредственная кластеризация выполняется по трехшаговому иерархическому алгоритму, который формирует семантически прозрачную структуру групп. Итерационная кластеризация строится сверху вниз: сначала все системы разделяются на группы на основе формального статуса F_i : ГИС/КИИ ($F = 3$), персональные данные ($F = 2$) и прочие ($F = 1$). Это позволяет не смешивать архитектурно и нормативно разнородные объекты. Второй шаг направлен на выделение внутри каждого мега-кластера «критического ядра». Для этого определяется адаптивный порог, например, 80-я перцентиль распределения значений $\max(A_i, I_i)$. Системы, превышающие порог, образуют подкластер повышенного внимания, остальные формируют «регулируемую базу». После этого внутри каждого полученного подкластера системы ранжируются по значению КИУ_i и разделяются на три финальные группы: высокий риск, средний риск, низкий риск. Таким образом, итоговая классификация имеет вид: «ГИС/КИИ – Критическое ядро – Высокий риск».

Для иллюстрации практического применения предложенного подхода сформирован демонстрационный набор из шести типовых информационных систем строительной организации, различающихся по функциональному назначению, регуляторному статусу и характеру обрабатываемых данных. Для каждой системы выполнена экспертная оценка параметров F, I, A, C и R, после чего рассчитан композитный индекс угроз. Весовые коэффициенты приняты равными $\alpha = 3, \beta = 2, \gamma = 3, \delta = 0.5$, что акцентирует значимость регуляторного статуса и аварийного воздействия.

Результаты исходной оценки и вычисления индекса представлены в табл. 1, которая служит исходной основой для последующей кластеризации и анализа распределения рисков между системами.

Таблица 1 – Оценка условных ИС строительной организации

Название ИС	F	I	A	C	R	Расчет КИУ
1. ВИМ-сервер (ГИС)	3	4	5	9	7	$\max(3*3, 4*2, 5*3)=15 + (9+7)*0.5 = 23.0$
2. Система контроля доступа (СКД) на объекте	1	5	9	5	3	$\max(1*3, 5*2, 9*3)=27 + (5+3)*0.5 = 31.0$
3. Бухгалтерия (1С, перс. данные)	2	6	2	8	9	$\max(2*3, 6*2, 2*3)=12 + (8+9)*0.5 = 20.5$
4. Архив проектной документации	1	3	2	10	8	$\max(1*3, 3*2, 2*3)=6 + (10+8)*0.5 = 15.0$
5. ERP-система	2	5	4	8	6	$\max(2*3, 5*2, 4*3)=12 + (8+6)*0.5 = 19.0$
6. Сайт компании	1	8	3	3	2	$\max(1*3, 8*2, 3*3)=16 + (3+2)*0.5 = 18.5$

После регуляторной сегментации ВИМ-сервер отнесен к кластеру $F = 3$, бухгалтерия и ERP – к $F = 2$, а система контроля доступа (СКД), архив и сайт – к $F = 1$. На этапе выделения ядра риска в кластере $F=2$ критическим ядром определена бухгалтерия ($\max(A, I) = 6$ при пороге 6), а в кластере $F = 1$ – СКД ($\max(A, I) = 9$ при пороге 8.5). Финальная градация по значению КИУ отнесла ВИМ-сервер, бухгалтерию и СКД к уровню высокого риска, ERP-систему и сайт – к среднему риску, а архив – к низкому риску. Данный результат иллюстрирует ключевое преимущество метода: система контроля доступа, несмотря на низкий формальный статус ($F = 1$), была корректно идентифицирована как объект высокого риска благодаря экстремальному значению критерия воздействия на аварийность ($A=9$), что было бы невозможно при использовании классических методов, опирающихся на усреднение признаков [3].

Диаграмма классов программной системы, реализующей предложенный адаптивно иерархический метод кластеризации (АИМ-КИУ) (рис. 1).

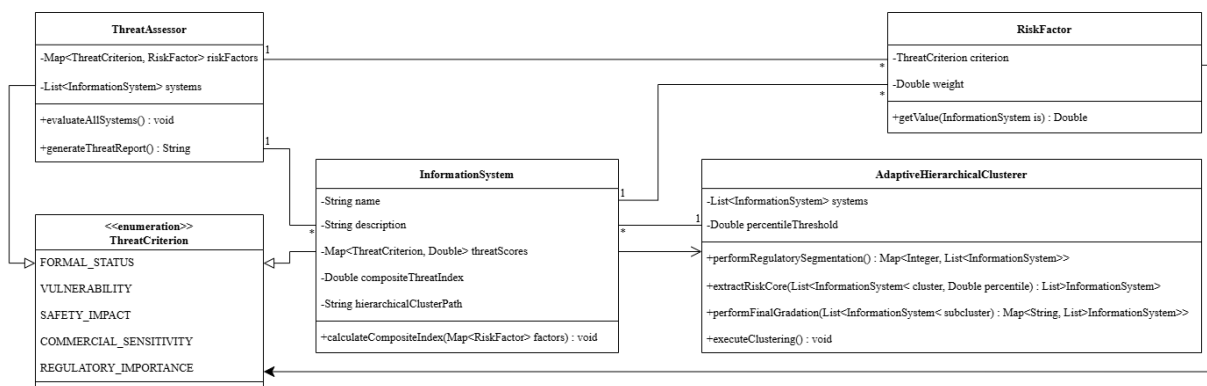


Рис. 1. Диаграмма классов АИМ-КИУ

Центральными элементами модели являются:

- InformationSystem, представляющий оцениваемую ИС, хранящий её атрибуты, оценки по критериям угроз, рассчитанный композитный индекс угроз (КИУ) и иерархический путь в итоговой кластеризации;
- RiskFactor, инкапсулирующий фактор риска (критерий угрозы). Он связан с элементом перечисления ThreatCriterion, содержит его весовой коэффициент и реализует логику получения конкретного значения данного фактора для целевой ИС;
- ThreatAssessor, управляющий процессом комплексной оценки. Его задача – агрегировать все факторы риска и информационные системы, координировать вычисление композитных индексов угроз для каждой ИС и формировать итоговый отчёт;
- AdaptiveHierarchicalClusterer, реализующий предложенный алгоритм кластеризации. Этот компонент инкапсулирует логику трёхэтапной процедуры: выполнение регуляторной сегментации, выделение «критического ядра» риска и финальную градацию систем по уровням угроз.

Предложенный адаптивный иерархический метод кластеризации по композитному индексу угроз представляет собой инструмент управления киберрисками, обладающий повышенной семантической прозрачностью и адаптивностью по сравнению с классическими алгоритмами [3, 4]. Его основные преимущества заключаются в логичной, соответствующей отраслевым реалиям структуре критериев, способности выявлять системы с экстремальными рисками по отдельным критическим направлениям и формировании ясной иерархической классификации. Последнее особенно важно для коммуникации с руководством и обоснования инвестиций в информационную безопасность. Дальнейшим развитием метода видится его интеграция с системами оперативного мониторинга (SIEM) [5] для динамического обновления показателей уязвимости и автоматического пересчета кластеров, что позволит перейти к модели проактивного управления кибербезопасностью цифрового ландшафта строительной организации.

Литература

- [1]. CODE RED 2026: Актуальные киберугрозы для российских организаций [Электронный ресурс] // Positive Technologies. 2025. URL: <https://ptsecurity.com/research/analytics/russia-cyberthreat-landscape-2026/> (дата обращения: 03.12.2025).
- [2]. Dli, M., Puchkov, A., Kakatunova, T. Fuzzy clustering in the problem of technological state assessment for phosphorose production. Russian Advances in Fuzzy Systems and Soft Computing: Selected Contributions to the 8th International Conference on "Fuzzy Systems, Soft Soft Computing and Intelligent Technologies", FSSCIT 2020; Smolensk; Russian Federation; 29 June 2020 до 1 July 2020; Код 165822. CEUR Workshop Proceedings Volume 2782, 2020, Pages 59-64.
- [3]. Куринных Д. Ю., Айдинян А. Р., Цветкова О. Л. Подход к кластеризации угроз информационной безопасности предприятий // ИВД, 2018. №1 (48). С. 91.
- [4]. Берешполов И. С., Кравченко Ю. А., Слепцов А. Г. Алгоритм кластеризации данных для защиты конфиденциальной информации в сети интернет // Известия ЮФУ. Технические науки. 2023. №3 (233). С. 74-83.
- [5]. Emerging information communication technology trends in the construction industry: an overview [Электронный ресурс] // Springer Nature Link. 2025. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s44290-025-00307-8> (дата обращения: 03.12.2025).

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

Строительная отрасль в последние годы переживает фундаментальную трансформацию, становясь одним из драйверов цифровой экономики. Внедрение BIM-технологий, систем управления проектами, IoT-решений для мониторинга строительных процессов и облачных сервисов для взаимодействия с контрагентами кардинально меняет ландшафт современной строительной организации [1]. Однако этот процесс сопровождается ростом киберугроз. Согласно отчету Positive Technologies, доля успешных кибератак на промышленные объекты, включая строительный сектор, достигла в 2025 году 17%, что на 6% превышает показатели предыдущего года [2].

Несмотря на очевидные риски, вопросы информационной безопасности зачастую остаются на периферии при принятии решений об автоматизации. Существующие методы защиты либо слишком абстрактны (международные стандарты серии ISO/IEC 27000), либо ориентированы на иные сферы, не учитывая уникальные характеристики строительного производства. В результате формируется разрыв между реальными потребностями отрасли в защите информации и доступными инструментами, что делает строительные организации особенно уязвимыми перед лицом современных киберугроз.

Деятельность строительных организаций обладает рядом особенностей, которые усугубляют существующие пробелы в процессе автоматизации и создают уникальный ландшафт киберрисков. К числу таких особенностей относятся:

- критическая значимость проектных данных, заключающаяся в том, что современное строительство связано с созданием и использованием BIM-моделей, геодезических данных, проектной и сметной документации. Эти активы представляют собой интеллектуальную собственность и коммерческую тайну. Их распределенная разработка большим числом участников (проектировщики, субподрядчики, заказчик) создает сложную, трудно контролируемую среду обмена данными, где риски утечки или несанкционированного изменения существенно возрастают [1];

- гетерогенность технологического ландшафта, проявляющаяся в том, что цифровая экосистема современной стройки объединяет корпоративные ERP- и CRM-системы с IoT-устройствами, беспилотными системами для геодезии и промышленными SCADA-компонентами. Использование этих технологий расширяет поверхность атак, поскольку IoT-устройства часто имеют низкий уровень встроенной безопасности и интегрируются без должного аудита, что требует дополнительных мер защиты и сетевой сегментации [3];

– зависимость от импортного ПО и угроза цифровому суверенитету обусловлена тем, что ключевые процессы проектирования, моделирования и кадастра завязаны на продукты зарубежных вендоров (Autodesk, Trimble и др.). Это создает долгосрочные стратегические риски: невозможность независимого аудита кода, наличие потенциальных «закладок», риски санкционных ограничений и прекращения технической поддержки [4];

– фрагментированность и временный характер цифровых процессов связаны с тем, что каждый строительный проект уникален и представляет собой временную ИТ-среду с меняющимся составом участников (заказчик, генподрядчик, десятки субподрядчиков). Это крайне затрудняет внедрение и поддержание единых, сквозных политик безопасности и контроля доступа. Отсутствие единых отраслевых регламентов ИБ и вариативность требований заказчиков усугубляют ситуацию [1].

Для систематизации угроз, характерных для строительной отрасли, был проведен анализ актуальных типов кибератак. Результаты представлены в таблице 1 [1-4].

Таблица 1 – Актуальные киберугрозы для строительной отрасли и их последствия

Вид угрозы	Основные векторы атак	Ключевые последствия
Ransomware (шифровальщики)	Фишинг, эксплуатация уязвимостей RDP/VPN, атаки на BIM-серверы, серверы документации и базы смет	Остановка работ, срыв сроков, финансовые потери, репутационный ущерб
Кибершпионаж	Целевой фишинг, вредоносное ПО на CAD/BIM-станциях, компрометация облачных хранилищ	Потеря интеллектуальной собственности и конкурентных преимуществ
Атаки на IoT/SCADA	Заводские уязвимости устройств, стандартные пароли, атаки на протоколы MQTT и Modbus, датчики мониторинга и SCADA-компоненты	Остановка работ, риски аварий, хищение ресурсов, срыв графиков поставок
Атаки через цепочку поставок	Компрометация подрядчиков, учетных записей внешних пользователей и облачных сервисов обмена BIM-данными	Проникновение в сеть, утечка данных, нарушение координации проектов
Социальная инженерия	Фишинговые письма и звонки, атаки на учетные записи сотрудников с доступом к ERP, BIM и СЭД	Кража учетных данных, НСД к системам, финансовые потери
DDoS-атаки	Перегрузка корпоративных порталов, BIM-сервисов и каналов связи	Недоступность сервисов, срыв тендеров и онлайн-операций
Утечки через OSINT	Анализ открытых репозиторий и облачных хранилищ, поиск ключей доступа и служебных документов	Компрометация систем, утечка данных
Устаревшее ПО	Сканирование сети на известные уязвимости, эксплуатация серверов и оборудования без обновлений	Нарушение работы систем, захват инфраструктуры
Хактивизм	Идеологические атаки на веб-сайты, публичные порталы и внутренние документы	DDoS, публикация конфиденциальных данных, репутационный ущерб

Представленные угрозы затрагивают как чисто информационные, так и технологические аспекты деятельности, напрямую влияя на производственные процессы. Однако для формирования адекватных требований к безопасности информационных систем необходимо установить прямые причинно-следственные связи между выявленными отраслевыми особенностями и конкретными мерами защиты, которые должны быть реализованы в АИС.

На основе проведенного анализа была построена интеллект-карта, визуализирующая эти взаимосвязи (рисунок 1). Данная схема позволяет наглядно представить, как каждая отраслевая особенность трансформируется в набор специфических требований к безопасности информационных систем в строительстве.



Рисунок 1 – Интеллект-карта влияния отраслевой специфики строительства на формирование требований к безопасности АИС

Как видно из представленной схемы, специфика строительной отрасли формирует комплекс взаимосвязанных требований к системам информационной безопасности. Критическая значимость проектной документации и BIM-моделей выводит на первый план защиту интеллектуальной собственности и целостности данных, что требует внедрения систем управления цифровыми правами и жесткого контроля версий в среде общих данных. Одновременно с этим крайне разнородный технологический ландшафт, включающий множество IoT-устройств на площадках, диктует необходимость глубокой сегментации сетей и обязательного использования шифрования при передаче данных с удаленных объектов, дополненного мерами физической защиты оборудования.

Существенное влияние оказывает и высокая зависимость от иностранного программного обеспечения, что смещает фокус в сторону тщательного аудита вендоров и поиска решений, имеющих сертификаты ФСТЭК, а также формирования долгосрочных стратегий импортозамещения для обеспечения

цифрового суверенитета. Наконец, фрагментированность процессов и временный характер проектных команд порождают потребность в гибком, но строгом управлении доступом для множества субподрядчиков. Это требует внедрения сквозных политик безопасности на весь жизненный цикл проекта, решений для гостевой аутентификации и непрерывного мониторинга действий подрядчиков, что в совокупности позволяет минимизировать риски, присущие проектной модели работы.

Таким образом, проведенное исследование подтверждает наличие устойчивого противоречия между активной цифровизацией строительной отрасли и фрагментарным учетом требований информационной безопасности. Отраслевая специфика – работа с ценными ВІМ-данными, интеграция уязвимых IoT-устройств, зависимость от импортного ПО и временный характер проектных команд – формирует уникальный профиль киберугроз, который не покрывается существующими универсальными методами защиты. Выявленные в ходе анализа отраслевые факторы порождают четко определенные, взаимосвязанные требования к безопасности информационных систем: защита интеллектуальной собственности в среде общих данных, сегментация гетерогенных сетей, аудит вендоров и стратегии импортозамещения, а также гибкое управление доступом для множества временных участников проектов. Именно комплексный учет данных требований позволяет перейти от абстрактных рассуждений о необходимости защиты к формированию конкретных, обоснованных критериев оценки отраслевых АИС на всех этапах их жизненного цикла – от выбора и интеграции до эксплуатации.

Литература

- [1] Григорян Г.Р., Сахно Ю.С. Особенности внедрения профессионального программного обеспечения в отечественные строительные организации // Экономическая безопасность страны, регионов, организаций различных видов деятельности. Тюмень: ТюмГУ-Press, 2022. С. 314-318.
- [2] Отчет о киберугрозах для промышленных и инфраструктурных объектов [Электронный ресурс] // Positive Technologies. 2025. URL: <https://www.ptsecurity.com> (дата обращения: 10.12.2025).
- [3] Шевко Н.Р., Коростиева В.С. Кибербезопасность в строительстве // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. 2025. № 2(36). С. 172-175.
- [4] Цыганкова А. А., Зверева Я. Д. Анализ рисков цифровизации инвестиционно-строительных проектов // Современные проблемы управления проектами в инвестиционно-строительной сфере и природопользовании. М.: Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, 2022. С. 44-51.

РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДБОРА И КОМБИНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТОВ ГАРДЕРОБА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА

В условиях бурного роста электронной торговли и цифровизации ритейла клиент сталкивается с огромным разнообразием товаров, размещённых на разных интернет-площадках. Это особенно актуально в сфере моды, где ассортимент одежды стремительно расширяется, а число вариантов выбора значительно увеличивается. Из-за этого подбор нужных вещей и составление гармоничных композиций отнимают много времени и требуют от пользователя дополнительных усилий.

Формирование образа – сложный процесс, требующий учёта множества факторов. К ним относятся личные пристрастия, избранный стиль, климатические условия, возрастные характеристики, а также особенности телосложения. Особое значение имеет совместимость отдельных элементов гардероба, что делает задачу подбора одежды многопараметрической.

Ручной анализ всех возможных комбинаций осложняется высоким числом вариантов и необходимостью одновременной обработки большого количества критериев. Поэтому актуальна потребность в применении интеллектуальных технологий анализа данных и построения персонализированных рекомендательных систем, способных автоматизировать процесс подбора и упростить выбор для конечного пользователя [1].

В основе предлагаемой системы лежат три ключевых типа рекомендательных алгоритмов: коллаборативная фильтрация, контентная фильтрация и нейросетевая модель обработки информации.

Коллаборативная фильтрация строится на анализе поведения пользователей. Система выявляет схожесть в предпочтениях между разными людьми, опираясь на их историю взаимодействия с товарами. При наличии схожести в интересах она предлагает одному пользователю те изделия, которые ранее понравились другому, чьи вкусы были идентифицированы как аналогичные.

Контентная фильтрация формирует рекомендации с учётом свойств самих объектов [2]. При этом проводится анализ таких параметров одежды, как стиль, цвет, вид изделия и иные характеристики, которые затем сравниваются с предпочтениями конкретного пользователя.

Использование нейросетевой модели позволяет проанализировать совокупность показателей пользователя и внешних условий. Такой подход даёт возможность одновременно учитывать множество факторов – стиль, возраст, метеоусловия, особенности телосложения – а также находить скрытые связи между ними.

Однако современные подходы имеют ряд ограничений. Чаще всего рекомендации строятся исключительно для отдельных вещей, а не для полноценных образов из нескольких элементов гардероба. Более того, многие системы опираются главным образом на историю взаимодействия пользователя с товарами – просматриваемые или купленные вещи – и слабо учитывают внешние факторы, такие как климатические условия, возрастные особенности или антропометрические данные. В результате пользователь получает предложение, похожее на ранее интересовавшие, однако они не всегда формируют цельный и эстетический выверенный образ.

Предлагаемая рекомендательная система решает указанную проблему, создавая целостные комплекты одежды с учётом всех ключевых параметров пользователя и актуальных условий окружающей среды. Основой её работы служит нейросетевая модель, способная работать с многомерными данными и раскрывать скрытые закономерности между особенностями личности и характеристиками одежды.

Далее осуществляется подготовка данных – нормализация числовых значений и преобразование категориальных признаков. Первый этап включает сбор информации о пользователе и текущих условиях. Здесь формируется набор данных, содержащий предпочитаемый стиль, возрастные рамки, параметры телосложения, а также актуальные погодные данные.

Следующим шагом становится блок первичной подготовки данных, где производится масштабирование входных характеристик, трансформация категориальных признаков и создание вектора признаков, необходимого для дальнейшего анализа.

Центральным звеном архитектуры является нейросетевой модуль генерации рекомендации. Он работает с поступающими данными с применением многослойной нейросети и рассчитывает индекс соответствия различных элементов одежды.

Входной вектор строится на основании характеристик пользователя и внешних факторов и может быть описан следующим образом:

$$x = (s, a, p, w, g)$$

Эта формула отражает способ обработки информации внутри нейросети. На вход подаётся вектор признаков, включающий сведения о пользователе и окружающих условиях – стиль, возраст, тип телосложения и метеоусловия. У каждого такого параметра, есть своя весовая характеристика, учитывающая его влияние при формировании рекомендаций. Затем происходит линейная обработка входных данных с учётом коэффициентов и сдвига. Последующие применение функции активации позволяет сети находить зависимость между разными разнородными признаками. В итоге формируется выходное число, характеризующее уровень сочетаемости вещей из гардероба.

Итоговое действие нейросетевой модели – расчёт степени соответствия разных элементов одежды. На базе этих результатов система формирует варианты образов, удовлетворяющие установленным критериям.

Оценка качества подобранных комбинаций осуществляется с помощью функции совместимости гардеробных элементов, которая может быть представлена следующим выражением:

$$C = \sum_{i=1}^n y_i$$

Эта формула применяется для оценки степени сочетаемости создаваемого комплекта одежды. Каждому элементу гардероба присваивается показатель, отражающий уровень его совместимости с остальными частями образа. Чем выше полученное значение функции, тем более гармоничным считается сформированный комплект одежды [3].

Таким образом, система формирует несколько возможных комплектов одежды и выбирает те варианты, для которых значение функции совместимости является максимальным [4].

Алгоритм функционирования разработанной системы включает несколько последовательных этапов:

1. Определение параметров пользователя (стиль, возраст, особенности фигуры)
2. Получение данных о текущих погодных условиях.
3. Формирование входного вектора признаков.
4. Передача данных в нейросетевую модель.
5. Вычисление вероятности совместимости предметов одежды.
6. Формирование нескольких вариантов комплектов гардероба.
7. Анализ результатов и уточнение рекомендаций пользователем.

В ходе тестирования разработанная система продемонстрировала способность формировать стилистически согласованные комплекты одежды. Например, при выборе спортивного стиля и указании прохладных погодных условий система формирует образ, включающий верхнюю одежду спортивного типа, базовую одежду и соответствующую обувь. При изменении параметров пользователя рекомендации автоматически адаптируются, изменяя элементы комплекта и их характеристики.

Основываясь на методах машинного обучения и рекомендательных систем, используется нейросетевая модель для формирования персонализированных рекомендаций по подбору и комбинированию предметов гардероба. Разработанная система позволяет учитывать совокупность пользовательских характеристик и внешних условий, формируя персонализированные и согласованные комплекты одежды. Предложенный подход может быть использован при разработке интеллектуальных сервисов электронной коммерции и систем персонализированного подбора одежды.

- [1] Aggarwal C.C. Recommender Systems: The Textbook. Springer, 2016. – С. 35–42.
- [2] Ricci F., Rokach L., Shapira B. Recommender Systems Handbook. Springer, 2015. – С. 120–134.
- [3] Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. MIT Press, 2016. – С. 165–180.
- [4] Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2006. – С. 88–96.

*А.С. Цыкунов, студ., рук. А.Ю. Пучков к.т.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В условиях цифровой трансформации финансовой сферы банковский сектор сталкивается с необходимостью повышения эффективности обработки информации, управления рисками и качества принимаемых решений. Рост объемов данных, усложнение финансовых продуктов и усиление регуляторных требований приводят к снижению эффективности традиционных методов анализа и автоматизации банковских процессов. В связи с этим возрастает интерес к применению методов искусственного интеллекта (ИИ), основанных на машинном обучении и интеллектуальном анализе данных. Однако внедрение ИИ-решений в банковской сфере зачастую ориентированы на решение отдельных прикладных задач, что затрудняет формирование целостной оценки их влияния на функционирование банковского сектора [1, 2].

В связи с этим актуальность исследования обусловлена тем, что несмотря на активное внедрение технологий ИИ в банковскую деятельность, в настоящее время отсутствует единый подход к оценке их влияния на ключевые процессы банковского сектора с учетом как экономических эффектов, так и возникающих технологических и операционных рисков. Существенная часть решений ориентирована на частные задачи, такие как кредитный скоринг или выявление мошенничества, при этом вопросы их системной интеграции в управление банковскими процессами остаются недостаточно проработанными.

Существующие подходы к применению ИИ в банковской сфере ограничены слабой интерпретируемостью результатов, зависимостью от качества данных и сложностью адаптации к изменениям рынка. Указанные ограничения подтверждают необходимость разработки и анализа методов, обеспечивающих повышение эффективности банковских процессов при соблюдении требований надежности и регуляторного соответствия [3].

Целью исследования являлся анализ влияния ИИ на банковский сектор и определение основных этапов комплексного подхода к применению методов ИИ в системе управления банковскими процессами, ориентированными на повышение эффективности принятия решений и снижение операционных рисков.

Для достижения поставленной цели в работе предполагается решение следующих задач: анализ основных направлений применения ИИ в банковской деятельности; выявление их преимуществ и ограничений; формирование обобщённых выводов о перспективах использования ИИ в банковском секторе экономики.

Научная новизна состоит в обобщении и систематизации подходов к применению ИИ в банковской деятельности и структурировании направлений его использования с учётом преимуществ и ограничений методов ИИ.

Банковский сектор как сложная социально-экономическая система функционирует на основе обработки значительных объёмов данных, управления рисками и принятия решений в условиях неопределённости. Современные банки ежедневно обрабатывают миллионы транзакций, анализируют кредитные заявки, выявляют мошеннические операции и прогнозируют финансовую устойчивость [4, 5].

В условиях цифровизации экономики и усиления конкуренции со стороны финтех-компаний традиционные методы управления банковскими процессами становятся недостаточно эффективными. Ранее основными инструментами анализа являлись статистические модели, регрессионные методы, экспертные оценки и нормативные алгоритмы принятия решений.

В настоящее время в банковской практике активно внедряются технологии ИИ и машинного обучения, применяемые для автоматизации кредитного скоринга, выявления мошеннических действий, управления кредитными рисками, а также для оптимизации процессов взаимодействия с клиентами и повышения точности прогнозирования финансовых показателей.

Несмотря на расширение использования интеллектуальных технологий, их внедрение носит фрагментарный характер. Во многих случаях ИИ-решения интегрируются в отдельные бизнес-процессы без комплексной трансформации системы управления банком в целом. Это приводит к ряду ограничений. В результате чего потенциал ИИ используется не в полной мере, а управленческие решения по-прежнему принимаются на основе неполной или противоречивой информации.

В банках часто используются разрозненные информационные системы, что затрудняет объединение данных и снижает точность работы моделей ИИ. Кроме того, многие алгоритмы решают только отдельные задачи и не обеспечивают комплексного улучшения управления процессами [6].

Дополнительные сложности связаны с трудностью объяснения решений моделей, высокими затратами на внедрение технологий, нехваткой квалифицированных специалистов и необходимостью обеспечения кибербезопасности. Преодоление этих барьеров требует от руководства банка системного подхода к управлению рисками и значительных инвестиций в развитие кадрового потенциала и технической инфраструктуры.

В рамках настоящего исследования предложен комплексный подход к интеграции методов ИИ в систему управления банковскими процессами, ориентированный на повышение качества управленческих решений и снижение

операционных рисков. В отличие от неполного внедрения отдельных ИИ-решений, предлагаемый подход предполагает системную интеграцию интеллектуальных алгоритмов в ключевые аспекты управления.

Внедрение такой системы в едином контуре управления создает условия для более обоснованного стратегического планирования, повышения качества обслуживания клиентов и оптимизации использования трудовых и финансовых ресурсов банка, а также позволяет значительно повысить скорость принятия управленческих решений и адаптивность к изменениям рыночной среды.

Процесс интеграции методов ИИ в систему управления банковскими процессами структурирован в виде последовательности из четырех этапов: от подготовки данных до контроля эффективности внедренных моделей. Краткая характеристика этапов с указанием содержания работ и ожидаемых результатов представлена в таблице 1.

Применение предложенного подхода к интеграции ИИ в управление банковскими процессами существенно повышает эффективность сектора. Интеллектуальные модели обеспечивают более точную оценку кредитных рисков за счет анализа больших данных и выявления скрытых закономерностей. Автоматизация аналитики сокращает время рассмотрения заявок и снижает нагрузку на сотрудников.

Таблица 1 – Этапы применения ИИ при управлении банковскими процессами

Наименование этапа	Содержание этапа	Ожидаемый результат
Интеграция и подготовка данных	Формирование единого хранилища данных на основе внутренних и внешних источников; очистка, структурирование и нормализация информации	Повышение качества и целостности данных для последующего анализа
Построение интеллектуальных моделей	Разработка и обучение моделей машинного обучения для оценки кредитных рисков, прогнозирования дефолтов, выявления мошенничества и анализа клиентского поведения	Повышение точности прогнозирования и выявления рискованных операций
Внедрение модуля поддержки принятия решений	Интеграция ИИ-моделей в управленческие процессы банка с формированием автоматизированных рекомендаций	Сокращение времени принятия решений и снижение влияния человеческого фактора
Контроль и адаптация моделей	Мониторинг эффективности моделей, их регулярное обновление и корректировка с учётом изменений внешней среды и нормативных требований	Поддержание актуальности и стабильности работы интеллектуальной системы

В результате проведённого исследования выделены и конкретизированы основные этапы комплексного подхода к применению методов ИИ в системе управления банковскими процессами, ориентированный на повышение эффективности принятия решений и снижение операционных рисков.

Полученные результаты могут найти применение в алгоритмическом и информационном обеспечении банковских информационных систем, систем риск-менеджмента и поддержки управленческих решений, а также в разработке интеллектуальных рекомендательных сервисов после адаптации предложенного подхода к специфике организаций.

Литература

- [1]. Vuković, D.B., Dekpo-Adza, S. & Matović, S. AI integration in financial services: a systematic review of trends and regulatory challenges. *Humanit Soc Sci Commun* 12, 562 (2025). <https://doi.org/10.1057/s41599-025-04850-8>
- [2]. Пучков А. Ю., Дли М. И., Василькова М. А., Прокимнов Н.Н. Метод прогнозирования оттока клиентов банка на основе ансамблевой модели машинного обучения // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 1. С. 5–27. DOI: 10.37791/2687-0649-2024-19-1-5-27.
- [3]. Fundira, M., Mbohwa, C. AI ethics in banking services: a systematic and bibliometric review of regulatory and consumer perspectives. *Discov Artif Intell* 5, 319 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44163-025-00432-4>
- [4]. Lopes, J.M., Massano-Cardoso, I. & Pedrosa, L. The role of artificial intelligence in mobile banking: decoding portuguese consumers' perceptions and intentions to engage. *Futur Bus J* 11, 125 (2025). <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00510-0>
- [5]. Goyal, K., Garg, M. & Malik, S. Adoption of artificial intelligence-based credit risk assessment and fraud detection in the banking services: a hybrid approach (SEM-ANN). *Futur Bus J* 11, 44 (2025). <https://doi.org/10.1186/s43093-025-00464-3>
- [6]. Manzoor E. *Three Challenges Stalling AI Implementation In The Financial Sector* // Forbes. – 26 Dec. 2024. – URL: <https://www.forbes.com/councils/forbestechcouncil/2024/12/26/three-challenges-stalling-ai-implementation-in-the-financial-sector/> (дата обращения: 19.02.2026).

**Е.А. Чернова, студ.; рук. А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске**

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ЧАЙНОГО ЛИСТА

Существующие механические методы сортировки чайного листа, такие как вибросита и аспираторы, позволяют разделять сырье по размеру и весу, но не способны решить задачи отбора по цвету, форме и наличию дефектов. Как отмечает А. В. Нестеров [1], такие методы имеют ограниченную эффективность при производстве чая высших сортов, где требование к сырью высокие, что способствует поиску более адаптивных решений. Кроме того, ручная сортировка, оставаясь наиболее точным методом для сортов высшего качества, не может обеспечить необходимую производительность на крупных предприятиях из-за влияния человеческого фактора, заключающегося, например, в субъективности и утомляемости работника, приводящей к снижению внимания. С развитием вычислительных ресурсов стало возможным создание систем, способных стать альтернативой ручной сортировке чайного листа. Данные системы основаны на технологии компьютерного зрения, которая все чаще внедряется в пищевой и агропромышленный комплексы. Их главным достоинством на текущем этапе их развития является способность не только фиксировать визуальную информацию, но и интерпретировать ее с высокой точностью. Соответственно, указанное актуализирует создание

автоматизированных систем контроля качества, способных в режиме реального времени обрабатывать большие объемы сырья, минимизируя влияние человеческого фактора и обеспечивая выполнение стандартизированных характеристик готовой продукции в условиях глобального производства.

Для задач автоматической классификации и сортировки чайного листа в промышленных условиях, как отмечают Н. А. Андриянов, В. Е. Дементьев и А. Г. Ташлинский [2], подходит большое количество нейросетевых архитектур, в том числе сверточные нейронные сети (CNN). Однако наиболее часто применяются нейросетевые архитектуры семейства YOLO («You Only Look Once»). YOLO рассматривает задачу обнаружения дефектов по изображению как единую задачу, что обеспечивает высокую скорость обработки (до 100-150 кадров в секунду) при сохранении приемлемой точности. Это позволяет создавать системы компьютерного зрения, способные к восприятию неоднородных потоков сырья, принятию решений о принадлежности каждого отдельного листа к тому или иному сорту и выполнению действий по разделению на сорта в рамках производственной линии. Как указывает А. Н. Баланов [3], модели YOLO сегодня могут быть адаптированы для многоуровневого обнаружения составных частей чайного растения, например почки, молодого листа, стебля. Однако, интеграция компьютерного зрения не всегда может отразить сложность признаков растительного сырья. Для этого предлагается внедрить в дополнение к компьютерному зрению рекуррентные нейронные сети, обладающие большей гибкостью и точностью при идентификации дефекта и принятии решения об отбраковке.

На рисунке 1 изображена предлагаемая модульная архитектура информационной системы сортировки чайного листа. Модуль захвата изображения отвечает за получение первичной информации из внешней среды с помощью камер высокого разрешения. Данные поступают в виде видеопотока, кадры которого содержат изображения движущихся чайных листьев. Модуль переработки отвечает за подготовку изображений для анализа. Данные проходят этапы нормализации освещения, фильтрации шумов, а также увеличения (при обучении модели) для увеличения разнообразия обучающей выборки. Модуль детекции и классификации на основе нейросетевой архитектуры на основе принятой информации осуществляет идентификацию объектов и их классификацию по заданным признакам (например, «стебель», «посторонний предмет»). Модуль использует возможность CNN YOLOv8, отличающуюся от классической архитектуры YOLO большим количеством скрытых слоев, для локализации объектов и генерации векторов признаков, направленных на достижение поставленных целей сортировки. После этого обработка передается в рекуррентную нейронную сеть для проверки классификации, сверки и принятия решения об отбраковке. В случае принятия данного решения запускается исполнительный механизм, взаимодействие с которым реализуется в форме высокоскоростного сигнала, активирующего пневматические форсунки.

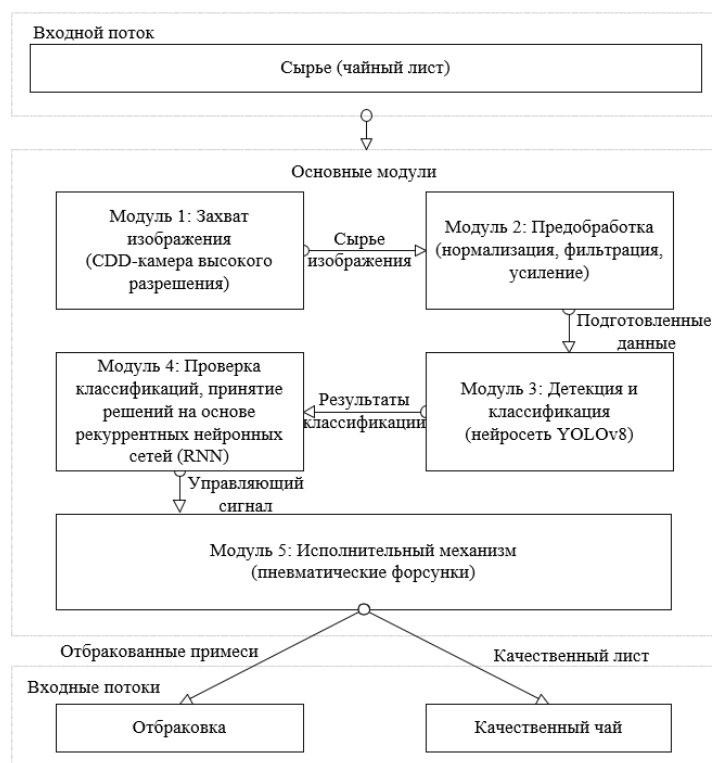


Рисунок 1 – Модульная архитектура системы сортировки чайного листа на основе компьютерного зрения и рекуррентных нейронных сетей

При проектировании модульной архитектуры учтено, что в технологическом процессе множество чайных листьев, обладающих уникальными характеристиками, движутся по транспортной ленте со скоростью до 3-5 м/с и должны быть классифицированы для достижения целей сортировки. Еще одной особенностью применения предлагаемой системы в рамках процесса сортировки чайного листа является необходимость интеграции аппаратных и программных компонентов в единый комплекс. Для реальной производственной задачи предлагается интеграция оптико-электронных сортировщиков (фотосепараторов), таких как ZK-T2-2A, работающих на основе принципов и алгоритмов, описанных А. В. Стукаловой, С. С. Ямпилковым, В. Б. Балдановым [4]. ZK-T2-2A включает в себя модули подачи сырья, высокоточные CCD-камеры для двустороннего сканирования. Данная среда позволяет реализовать классические задачи разделения материальных потоков, что упрощает принятие решение нейронной сетью в реальном времени, что в перспективе способствует роботизации производств.

Благодаря интеграции YOLOv8 с рекуррентной нейронной сетью, обладающей классической архитектурой, приведенной В. С. Ростовцевым [5], нейросетевые модели получают способность анализировать такие атрибуты, как цветовая гамма, текстура поверхности и форма листа, для обеспечения объективной оценки аппаратным средством вместо субъективной оценки человека. Кроме того, данная интеграция использует методы искусственного расширения обучающего набора данных путем создания модифицированных версий изображений путем использования инструментов, таких как поворот,

изменение масштаба и искажение перспективы, для изучения устойчивости модели к трансформациям объекта. Указанное позволяет проводить более глубокий контроль качества в реальном времени.

Таким образом, предложена гибридная модульная архитектура системы сортировки чайного листа на основе компьютерного зрения, построенная на основе методов компьютерного зрения и рекуррентных нейронных сетей. Система, с учетом возможностей от комбинации двух интеллектуальных методов, позволяет успешно имитировать экспертные оценки по сортировке чайного листа, проявлять адаптацию к изменяющимся условиям освещения и сортовым различиям, а также способствовать формированию стабильно высокого качества конечной продукции.

Литература

- [1]. Нестеров А.В. Промышленная сушка [Электронный ресурс] : монография. Электрон. текстовые дан. – изд. 3-е, стер. – СПб. : Лань, 2023. URL: <https://e.lanbook.com/book/288971>.
- [2]. Андриянов Н.А., Дементьев В.Е., Ташлинский А.Г. Обнаружение объектов на изображении: от критериев Байеса и Неймана-Пирсона к детекторам на базе нейронных сетей // Компьютерная оптика. 2022. № 1. С. 139-159.
- [3]. Баланов А.Н. Машинное обучение и искусственный интеллект [Электронный ресурс] : учебное пособие для вузов. Электрон. текстовые дан. – изд. 3-е, стер. – СПб. : Лань, 2026. URL: <https://e.lanbook.com/book/513580>.
- [4]. Стукалова А.В., Ямпиллов С.С., Балданов В.Б. Обзор современных фотосепараторов // Вестник ВСГУТУ. 2024. № 1. С. 62-71.
- [5]. Ростовцев В.С. Искусственные нейронные сети [Электронный ресурс] : учебник для вузов / В. С. Ростовцев. Электрон. текстовые дан. – изд. 5, стер. – СПб : Лань, 2025. URL: <https://e.lanbook.com/book/447392>.

*М.К. Чернышев, студ.; рук. Л.Ю. Гетманцев, к.т.н.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ В МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУРАХ И РОЛЬ ОРКЕСТРАТОРА В ЕЕ РЕШЕНИИ

В сфере разработки программного обеспечения микросервисная архитектура (MSA) стала доминирующим подходом при создании сложных распределенных приложений. Однако переход от монолита, работающего с единой базой данных, к множеству независимых сервисов породил фундаментальное противоречие. Микросервисы по своей природе являются статически независимыми и тяготеют к отсутствию своего состояния, тогда как реальные бизнес-приложения по определению должны уметь сохранять и обрабатывать состояние. Таким образом, возникает ключевая задача – обеспечение эффективного управления состоянием в распределенной гетерогенной среде.

С развитием микросервисной архитектуры как основного подхода к разработке сложных распределенных приложений [1]., перед разработчиками встал ряд фундаментальных проблем. Если монолитное приложение работало с единой базой данных и разделяло память между компонентами, то

микросервисы, напротив, являются независимыми и изолированными. Это в свою очередь порождает следующие сложности:

- сложность распределенных транзакций;
- горизонтальное масштабирование;
- необходимость координации.

Целью настоящего исследования является анализ проблемы управления состоянием в микросервисных системах и определение роли оркестратора в решении данной проблемы.

Фундаментальным принципом микросервисной архитектуры является слабая связанность, которая обеспечивается за счет паттерна Database per Service [2]. Согласно этому принципу, каждый микросервис полностью владеет своими данными и управляет ими, при этом прямой доступ к базе данных одного сервиса со стороны другого запрещен – взаимодействие возможно только через публичное API (рис. 1). На практике этот принцип может реализовываться от строгой изоляции с отдельными экземплярами БД до полиглотного хранения, когда каждый сервис использует СУБД, наилучшим образом соответствующую его задачам.

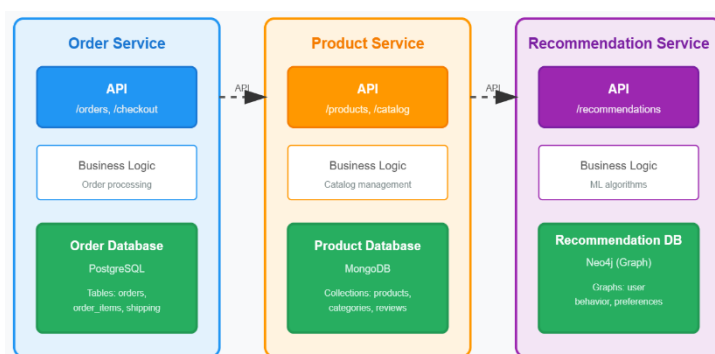


Рис. 1. Паттерн Database per Service: изоляция данных микросервисов

Описанный подход, обеспечивая независимость сервисов, порождает главную проблему – невозможность выполнения распределенных запросов и потерю механизма ссылочной целостности. Наиболее важным следствием является проблема согласованности данных, которая в распределенной среде приобретает иной характер по сравнению с монолитом. Классический механизм двухфазного коммита (2PC) оказывается несовместимым с микросервисной архитектурой: его использование предполагает блокировку ресурсов, нарушает требования слабой связанности и ограничивает выбор СУБД, поскольку многие NoSQL-решения не поддерживают подобные транзакции.

Для решения описанной проблемы был предложен паттерн Saga [4]. (рис. 2), который представляет из себя последовательность локальных транзакций, где каждая последующая транзакция инициируется после успешного завершения предыдущей. Ключевое отличие данного паттерна от классической распределенной транзакции заключается в том, что здесь нет единого механизма отката, а вместо этого для каждого шага бизнес-процесса предусматривается

компенсирующее действие. В математическом представлении для бизнес-процесса из шагов $T_1 \dots T_n$ для каждого шага T_i существует компенсация C_i . То есть последовательное применение транзакции T_i и её компенсации C_i возвращает систему в исходное состояние.

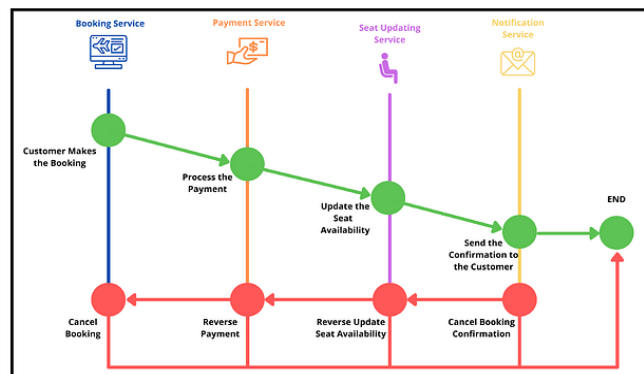


Рис. 2. Паттерн Saga: пример работы для процесса оформления билета на самолет

Паттерн Saga может быть реализован двумя принципиально различными способами [5]: хореографией и оркестрацией. Выбор между этими подходами во многом определяет архитектуру всей системы и ее способность надежно управлять состоянием распределенных процессов.

Хореография как децентрализованный подход:

Хореография представляет собой децентрализованный подход к координации, при котором сервисы общаются друг с другом напрямую через события. В этой модели отсутствует центральный управляющий компонент – каждый сервис самостоятельно принимает решения на основе полученных событий и публикует новые события по результатам своей работы.

Основным преимуществом хореографии является высокая масштабируемость, поскольку отсутствие центрального компонента снимает проблемы узких мест, а асинхронная природа событий позволяет сервисам обрабатывать нагрузки независимо друг от друга. Кроме того, в системе нет единой точки отказа. Однако у хореографии есть и серьезные недостатки. Логика бизнес-процесса оказывается "размазанной" по коду множества сервисов, что крайне затрудняет понимание общего хода выполнения операции. Отладка таких систем превращается в нетривиальную задачу, особенно когда цепочки событий становятся длинными и ветвящимися. Более того, состояние процесса рассредоточено по всем участвующим сервисам, что создает сложности при мониторинге.

Оркестрация как централизованное управление:

Альтернативой хореографии выступает оркестрация, при которой в системе появляется центральный компонент – оркестратор, берущий на себя роль координатора бизнес-процесса. Оркестратор можно рассматривать как дирижера, который управляет оркестром микросервисов, указывая каждому из них, что и когда делать. В отличие от хореографии, где сервисы общаются

напрямую, при оркестрации все коммуникации проходят через оркестратора, который принимает решения на основе текущего состояния процесса и ответов от сервисов.

В качестве иллюстрации рассмотрим сценарий бронирования авиабилета. В отличие от хореографии, здесь оркестратор выступает единственным управляющим звеном: все сервисы получают команды только от него и не взаимодействуют напрямую. Получив клиентский запрос, оркестратор регистрирует новый процесс в собственном хранилище, присваивая ему идентификатор и начальный статус (например, «бронь создается»). Такое решение позволяет сохранять состояние даже в случае аварийного перезапуска самого координатора.

Далее координатор последовательно направляет команды участникам: сервису бронирования – на резервирование места, платежному сервису – на списание средств, сервису авиакомпании – на подтверждение. Каждый успешный ответ сопровождается обновлением статуса и фиксируется.

Рассмотрим ситуацию, когда после успешного списания средств сервис авиакомпании сообщает о невозможности подтверждения места. В отличие от хореографии, где компенсацию пришлось бы реализовывать распределенно, оркестратор, обладая актуальным состоянием процесса, самостоятельно инициирует цепочку откатных операций. В данном случае: направляет платежному сервису требование возврата средств, а сервису бронирования – команду снятия резерва.

С точки зрения теории вычислений, оркестратор удобно рассматривать как реализацию конечного автомата. Каждый бизнес-процесс проходит через конечный набор состояний, переходы между которыми инициируются либо внешними запросами, либо ответами от сервисов. Это обеспечивает строгую формализацию процесса и детерминированность поведения.

Оркестратор в контексте других паттернов.

Паттерны Event Sourcing и CQRS (Command Query Responsibility Segregation) находят применение в системах, предъявляющих повышенные требования к производительности и аудиту [6]. В основе Event Sourcing лежит подход, при котором вместо фиксации текущего состояния объекта сохраняется последовательность событий, приведших к этому состоянию. Такое решение обеспечивает возможность полного аудита и восстановления состояния системы на любой момент времени. Паттерн CQRS предлагает разделить модели чтения и записи, что позволяет независимо масштабировать операции.

Оркестратор не заменяет перечисленные паттерны, а выступает в роли связующего элемента, координирующего их совместное применение. Database per Service остается фундаментальным принципом, и оркестратор уважает эту изоляцию, взаимодействуя с сервисами только через их API. Паттерн Saga реализуется оркестратором через последовательные вызовы сервисов и компенсирующие действия. CQRS и Event Sourcing могут использоваться внутри отдельных сервисов, а оркестратор на верхнем уровне координирует процессы, полагаясь на события, генерируемые этими сервисами, выполняя тем самым

функцию координатора, объединяющего разрозненные микросервисы в единый согласованный процесс.

Анализ показывает, что выбор механизма управления состоянием не может быть универсальным – он диктуется требованиями к конкретной системе. Для несложных сценариев достаточно соблюдения принципа Database per Service, тогда как сквозные бизнес-процессы с участием нескольких сервисов требуют внедрения паттерна Saga, где принципиальным является выбор между хореографией и оркестрацией. Хореография дает выигрыш в производительности и отсутствии единой точки отказа, но порождает сложности иного рода: логика процесса рассредоточена по коду сервисов, что затрудняет мониторинг и отладку. Оркестрация, напротив, вносит дополнительные сетевые задержки, однако за счет централизованного ведения состояний обеспечивает предсказуемость поведения, упрощает сопровождение и позволяет четко реализовывать компенсационные сценарии. С практической точки зрения, при проектировании сложных распределенных систем оркестратор целесообразно рассматривать как базовый компонент, дополняя его специализированными механизмами (CQRS, Event Sourcing) только при наличии явных требований к аудиту или масштабированию.

Литература

- [1]. Ньюмен С. Создание микросервисов. – СПб.: Питер, 2016. – 304 с.
- [2]. Ричардсон К. Микросервисы. Паттерны разработки и рефакторинга. – СПб.: Питер, 2019. – 544 с.
- [3]. Фаулер М. Patterns of Enterprise Application Architecture. – Addison-Wesley, 2002. – 560 с.
- [4]. Garcia-Molina H., Salem K. Sagas // ACM SIGMOD Record. – 1987. – Т. 16. – № 3. – С. 249-259.
- [5]. AWS. Saga: управление распределенными транзакциями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://aws.amazon.com/ru/blogs/compute/saga-pattern-implement-business-transactions-using-microservices-part/> (дата обращения 04.03.2026)
- [6]. Microsoft. CQRS и Event Sourcing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/azure/architecture/patterns/cqrs>. (дата обращения 04.03.2026)

ОБЗОР МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы являются доминирующим типом регуляторов в промышленной автоматизации, занимая более 90 % от общего числа применяемых алгоритмов. Их популярность обусловлена простой реализацией, интуитивной понятностью коэффициентов и надёжностью в широком диапазоне условий эксплуатации. Однако эффективность работы замкнутой системы в решающей степени зависит от корректности выбора коэффициентов K_p, K_i, K_d . Классические методы настройки, такие как метод Циглера-Николса, Козна-Куна или метод желаемых ЛАЧХ, были разработаны несколько десятилетий назад и ориентированы на обеспечение устойчивости, а не на достижение оптимального сочетания противоречивых показателей качества – быстродействия, перерегулирования, запасов устойчивости и робастности [1]. Кроме того, эти методы часто дают избыточную колебательность или не учитывают специфические требования конкретного технологического объекта.

В последние десятилетия активно развиваются метаэвристические алгоритмы оптимизации, которые позволяют автоматизировать поиск параметров регулятора, минимизируя заданный критерий качества и учитывая различные ограничения. Эти методы не требуют дифференцируемости целевой функции, способны работать в многомерных пространствах и находить близкие к глобальному оптимуму решения даже в присутствии множества локальных экстремумов. Среди наиболее известных метаэвристик – метод роя частиц (PSO), генетический алгоритм (GA) и оптимизатор серых волков (GWO). В данной статье проводится их сравнительный обзор с акцентом на применимость в задачах настройки ПИД-регуляторов. Цель работы – дать практические рекомендации по выбору алгоритма в зависимости от специфики объекта управления, требований к качеству и доступных вычислительных ресурсов.

Метод роя частиц, предложенный Кеннеди и Эберхартом в 1995 году [2], вдохновлён социальным поведением живых организмов – стай птиц, косяков рыб, которые совместно ищут пищу. В контексте оптимизации каждая частица представляет собой потенциальное решение – вектор параметров регулятора $[K_p, K_i, K_d]$. Частицы перемещаются в пространстве поиска, запоминая своё лучшее найденное положение

ПИД-регуляторы являются основой подавляющего большинства промышленных систем автоматического управления. Качество их работы критически зависит от правильного выбора коэффициентов K_p, K_i, K_d . Частицы перемещаются в пространстве поиска, запоминая своё лучшее найденное

положение (личный опыт – p_{best}) и ориентируясь на лучшее положение всей стаи (социальный опыт – g_{best}). Движение частицы описывается двумя уравнениями: обновление скорости (с учётом инерции, когнитивной и социальной составляющих) и обновление позиции. Ключевыми параметрами являются коэффициент инерции ω (обычно линейно убывающий от 0,9 до 0,4), когнитивный c_1 и социальный c_2 коэффициенты (часто равны 1,5-2,0). Такая структура позволяет алгоритму сначала активно исследовать пространство (большой ω), а затем уточнять решение в окрестности найденного оптимума (малый ω).

К достоинствам PSO относятся высокая скорость сходимости – уже к 20-30 итерациям алгоритм выходит на близкий к оптимальному уровень – небольшое количество настраиваемых параметров, что упрощает применение для инженеров, устойчивость к локальным оптимумам при правильном балансе исследования и эксплуатации, а также простота параллельной реализации, так как оценки частиц независимы. В то же время PSO чувствителен к выбору параметров, особенно инерции и коэффициентов ускорения; неудачные значения могут привести к преждевременной сходимости или «разлёту» частиц. Кроме того, он ориентирован на непрерывные переменные, и для дискретных задач требуется модификация (бинарная PSO или гибридизация). При большом количестве локальных оптимумов, например в задачах с сильной нелинейностью, PSO может застревать в одном из них. На практике PSO широко используется для настройки регуляторов в электроприводах, робототехнике, теплоэнергетике, а также в многокритериальной оптимизации, где требуется быстрое нахождение приемлемого решения. Особенно эффективен он для объектов с гладким ландшафтом целевой функции и умеренной размерностью пространства поиска.

Генетический алгоритм, основанный на идеях естественного отбора и наследственности, был разработан Джоном Холландом в 1970-х годах [3]. В GA популяция особей (хромосом) кодирует возможные решения. Каждое поколение оценивается по целевой функции, и наиболее приспособленные особи отбираются для воспроизводства. С помощью операторов кроссовера (скрещивания) и мутации создаётся новое поколение, которое в среднем имеет более высокую приспособленность. Для предотвращения потери лучших решений часто применяется элитизм – сохранение нескольких лучших особей в неизменном виде.

Главными преимуществами GA являются его способность к глобальному поиску за счёт поддержания разнообразия популяции, что позволяет эффективно исследовать сложные многомодальные пространства, возможность работы с дискретными, целочисленными и смешанными переменными без дополнительных модификаций, простота учёта сложных ограничений через штрафные функции или специализированные операторы, а также хорошая масштабируемость для задач с большим числом переменных. Среди недостатков – медленная сходимость по сравнению с PSO; для достижения высокого качества

требуется большее число поколений. Генетический алгоритм имеет большое количество настраиваемых параметров (вероятности кроссовера и мутации, размер популяции, тип селекции), от выбора которых критически зависит успех. Существует также риск преждевременной потери разнообразия, особенно при высокой вероятности кроссовера и низкой мутации, что может привести к застреванию в локальном оптимуме. В задачах настройки регуляторов GA востребован, когда присутствуют дискретные или смешанные переменные, а также жёсткие нелинейные ограничения. Он часто применяется для систем с переключениями, цифровыми элементами или при наличии множества локальных оптимумов, а также в многокритериальной оптимизации с использованием Парето-фронта.

Оптимизатор серых волков был предложен Мирджалили и соавторами в 2014 году как метаэвристика, имитирующая иерархическую структуру и охотничье поведение волчьей стаи [4]. В стае выделяются альфа-волк (лучшее решение), бета-волк (второе лучшее), дельта-волк (третье лучшее) и омеги (остальные). Позиции волков обновляются на основе расположения трёх лидеров. Уникальность GWO заключается в наличии адаптивного коэффициента a , который линейно убывает от 2 до 0 в процессе итераций, обеспечивая плавный переход от глобального исследования к локальной эксплуатации.

Достоинства GWO – исключительная простота реализации: алгоритм не требует настройки параметров, кроме размера популяции и числа итераций, что делает его удобным для инженеров, не имеющих глубоких знаний в области оптимизации. Он обеспечивает хороший баланс между исследованием и эксплуатацией за счёт динамического изменения a и показывает высокую эффективность на непрерывных задачах, часто результаты близки к PSO. Однако GWO лишён встроенных механизмов для работы с дискретными переменными, что сужает область применения. При сложном многомерном ландшафте он может преждевременно сходиться к локальному оптимуму, поскольку количество лидеров (три) ограничено. Скорость сходимости GWO ниже, чем у PSO; для достижения высокой точности требуется больше итераций. Тем не менее, GWO успешно применяется для настройки регуляторов в электромеханических системах, робототехнике, а также для оптимизации параметров фильтров и нейронных сетей. Благодаря простоте использования он часто выступает в роли «быстрого старта» при отсутствии времени на тонкую настройку параметров.

На основе многолетних исследований и экспериментальных работ можно сформулировать несколько обобщённых выводов [5,6]. По скорости сходимости PSO уверенно лидирует [7], достигая приемлемого качества уже на 20-30 итерациях. GWO требует около 30-40 итераций, GA – 40-50 и более. Если важно быстро получить результат, например при интерактивной настройке, PSO предпочтительнее. По качеству финального решения PSO и GWO показывают близкие результаты, причём PSO обычно даёт чуть меньшие значения целевой функции. GA уступает в точности, особенно если не настроены параметры

кроссовера и мутации. Для задач, где требуется экстремально высокая точность, рекомендуется использовать PSO с последующим локальным уточнением.

По устойчивости к дискретным переменным и сложным ограничениям ГА не имеет себе равных. Если задача включает дискретные параметры (например, выбор структуры регулятора) или сложные нелинейные ограничения, ГА остаётся практически безальтернативным. PSO и GWO в таких случаях требуют значительных модификаций. По простоте реализации GWO наиболее прост (один цикл и несколько формул). PSO требует чуть больше кода, но также легко реализуется. ГА – наиболее громоздкий, особенно если требуется реализовать элитизм, различные типы кроссовера и мутации. При использовании встроенных инструментов Matlab (particleswarm, ga) разница нивелируется. По робастности к выбору параметров GWO наименее чувствителен – достаточно выбрать разумный размер популяции (30-50) и число итераций. PSO чувствителен к коэффициенту инерции и ускоряющим коэффициентам; неправильный выбор может привести к расходимости или преждевременной сходимости. ГА требует настройки вероятностей кроссовера и мутации, что может быть затруднительно без предварительных экспериментов.

При выборе алгоритма для конкретной задачи настройки ПИД-регулятора следует исходить из характеристик объекта управления, требований к качеству регулирования и доступных вычислительных ресурсов. Для объектов, которые хорошо описываются линейными моделями, при высоких требованиях к точности и быстродействию наиболее предпочтительным является метод роя частиц [2,6]. Он обеспечивает быстрое нахождение качественного решения при минимальных вычислительных затратах.

Если задача включает дискретные переменные, сложные нелинейные ограничения или смешанные типы данных, наиболее подходящим оказывается генетический алгоритм [3,5], который позволяет гибко моделировать ограничения и работать с различными типами переменных. В ситуациях, когда на первый план выходит простота реализации и отсутствие необходимости в тонкой настройке параметров, а также когда допустимо незначительное ухудшение точности по сравнению с PSO, хорошим выбором становится оптимизатор серых волков [4,7].

Для повышения качества и скорости поиска можно применять гибридные схемы, например, использовать PSO для глобального поиска, а затем уточнять решение градиентными методами или локальным поиском. Успех оптимизации в значительной степени зависит от правильной постановки задачи: выбора адекватного критерия качества, учёта физических ограничений, определения разумных границ поиска и предварительной обработки экспериментальных данных. Метаэвристики являются мощным инструментом, но они не заменяют инженерное понимание системы.

Метаэвристические алгоритмы продолжают активно развиваться. Среди современных направлений – создание адаптивных вариантов, например PSO с динамической настройкой параметров, гибридизация с методами машинного обучения, использование высокопроизводительных вычислений для

ускорения. Также растёт интерес к многокритериальной оптимизации, где требуется найти компромисс между противоречивыми показателями качества (быстродействие – перерегулирование – энергопотребление). В этом контексте PSO и GA уже имеют успешные многокритериальные расширения (MOPSO, NSGA-II). Кроме того, перспективным является применение метаэвристик для настройки не только классических ПИД-регуляторов, но и более сложных структур – нечётких регуляторов, регуляторов с прогнозированием, адаптивных систем.

В обзоре рассмотрены три ключевых метаэвристических алгоритма – метод роя частиц, генетический алгоритм и оптимизатор серых волков – для оптимальной настройки ПИД-регуляторов. Показано, что каждый метод имеет свою нишу: PSO – для быстрой и точной настройки непрерывных объектов, GA – для задач с дискретными переменными и сложными ограничениями, GWO – для простых и быстрых решений без тонкой настройки параметров. Выбор конкретного подхода должен определяться особенностями объекта управления, требованиями к качеству регулирования и доступными вычислительными ресурсами. Использование метаэвристик позволяет автоматизировать процесс настройки, сократить время пусконаладочных работ и повысить качество управления в реальных системах. Дальнейшее развитие этих методов, включая гибридизацию и адаптивные стратегии, открывает новые перспективы в области интеллектуальной автоматизации.

Литература

- [1]. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 400 с.
- [2]. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization // Proceedings of ICNN'95. Perth, 1995. Vol. 4. P. 1942-1948.
- [3]. Porter B., Jones A. Genetic tuning of digital PID controllers // Electronics Letters. 1992. Vol. 28, No. 9. P. 843-844.
- [4]. Mirjalili S., Mirjalili S.M., Lewis A. Grey Wolf Optimizer // Advances in Engineering Software. 2014. Vol. 69. P. 46-61.
- [5]. Ouyang P., Pano V. Comparative Study of DE, PSO and GA for Position Domain PID Controller Tuning // Algorithms. 2015. Vol. 8, No. 3. P. 697-711.
- [6]. Gaing Z.L. A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system // IEEE Transactions on Energy Conversion. 2004. Vol. 19, No. 2. P. 384-391.
- [7]. Mousakazemi S.M.H. Comparison of the error-integral performance indexes in a GA-tuned PID controlling system // Progress in Nuclear Energy. 2020. Vol. 129. Article 103512.

МЕТОДЫ СОЕДИНЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ С БАЗАМИ ДАННЫХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ PDO, MYSQLI И ENTITY FRAMEWORK

На данный момент выбор способа подключения к базе данных стал важной задачей при разработке программного обеспечения. От этого выбора зависит скорость работы, защищённость от атак, читаемость кода и удобство его дальнейшей поддержки. Понимание различий между существующими методами, их преимуществ и ограничений позволяет подобрать оптимальный вариант для конкретного проекта.

Целью данной статьи является сравнение трех основных способов работы с базами данных: расширение MySQLi, драйвер PDO и объектно-реляционная технология Entity Framework. Рассматриваются их функциональные возможности, производительность, уровень абстракции, механизмы безопасности и совместимость с различными СУБД.

В реальной разработке каждый из этих инструментов находит широкое применение. PDO и MySQLi используются в множестве PHP-проектов. Для создания корпоративных сайтов, интернет-магазинов, крупных CRM-систем и API-сервисов. Он крайне эффективен в случае, если важны безопасность и стабильность соединения с базой данных. Популярны фреймворки Laravel и Symfony используют PDO в качестве основы. Entity Framework, в свою очередь, стал стандартом для платформы .NET. Его применяют в компьютерных программах для бухгалтерии и складского учёта, в мобильных приложениях на Xamarin, в корпоративных порталах и банковских системах, где критически важны скорость разработки и удобство поддержки кода. Выбор конкретного инструмента определяется не только техническими требованиями, но и системой, по которой работает команда разработчиков.

PDO - универсальный драйвер, представляющий собой слой абстракции доступа к данным. Он предоставляет единый интерфейс для взаимодействия с различными СУБД, таких как MySQL, PostgreSQL, SQLite и так далее. В PDO встроена поддержка подготовленных выражений, которые являются эффективным средством защиты от SQL-инъекций. Также драйвер поддерживает транзакции и обработку ошибок через исключения. PDO отличается гибкостью, безопасностью и объектно-ориентированным подходом. Благодаря использованию драйверов низкого уровня для каждой конкретной СУБД, приложения на PDO легко переносятся с одной базы данных на другую. Это делает его подходящим для проектов, где возможна смена СУБД в будущем. PDO применяется не только в веб-разработке, но и в любых PHP-скриптах [3].

Основными преимуществами PDO являются, гибкая архитектура и высокий уровень безопасности. Драйвер хорошо сделан поскольку использует объектно-ориентированный подход, благодаря чему код получается понятным и удобным. Его легко поддерживать и переносить при необходимости. Он использует

проверенные приёмы работы с данными, что делает его надёжным выбором. PDO совместим с большинством современных баз данных.

MySQLi – специализированное расширение PHP для работы исключительно с MySQL. Оно предоставляет доступ ко всем возможностям сервера MySQL. MySQLi предлагает два интерфейса, процедурный и объектно-ориентированный. Расширение поддерживает подготовленные выражения, транзакции, репликацию и множественные запросы. MySQLi подходит для проектов любого масштаба, жёстко привязанных к MySQL, и отличается высокой производительностью, детальным доступом к ошибкам сервера и встроенной поддержкой различных кодировок. Как и его более универсальный аналог PDO, MySQLi можно использовать не только в веб-приложениях, но и в любых других программах на PHP, будь то консольные скрипты или фоновые обработчики [2].

MySQLi тесно связан с самой MySQL, поэтому работает быстро и без лишних прослоек – запросы выполняются напрямую, и сервер отвечает на них моментально. У расширения два варианта работы, можно писать код в процедурном стиле или использовать объектно-ориентированный подход, где код выглядит аккуратнее и его удобнее повторно использовать. Ещё одна полезная особенность – поддержка асинхронных запросов. Если приложению нужно выполнить несколько тяжёлых операций с базой, они могут делаться параллельно, и программа не будет подвисать в ожидании ответа. Когда случается ошибка, MySQLi выдаёт не просто код, а подробное описание проблемы – сразу понятно, что пошло не так и где искать причину. Плюс расширение умеет отдавать дополнительную информацию о том, какие данные вернулись, например, сколько полей в таблице или какие типы данных у столбцов. Это особенно выручает, когда пишешь универсальные отчёты или работаешь с таблицами, структуру которых заранее не знаешь.

Entity Framework – объектно-реляционная система с открытым исходным кодом от Microsoft для платформы .NET. Он позволяет работать с базами данных через объекты предметной области, устраняя необходимость в написании шаблонного кода доступа к данным. EF поддерживает несколько подходов: Code First (сначала код, потом база), Database First (сначала база, потом код) и Model First (визуальное проектирование). Основные понятия – класс DbContext, управляющий соединением и операциями, и DbSet<T>, представляющий коллекцию сущностей. В Entity Framework встроен LINQ – язык запросов, интегрированный в C#, который позволяет писать строго типизированные запросы с проверкой синтаксиса на этапе компиляции. Для загрузки связанных данных предусмотрены стратегии жадной, явной и ленивой загрузки. Технология применяется в различных типах .NET-приложений: компьютерных, мобильных, консольных, сервисах Windows, а также в веб-проектах на ASP.NET [1].

Основными достоинствами Entity Framework являются возможность интеграция с экосистемой .NET и высокая скорость разработки. Технология ускоряет создание приложений и дает возможность работать через репозиторий,

позволяя взаимодействовать с реляционными базами через строго типизированные объекты .NET. Использование EF может значительно сократить объём кода доступа к данным. EF может поддерживать работу с множеством баз данных. Смена СУБД происходит с минимальными изменениями в коде. Механизм миграций позволяет разделить на версии изменения схемы базы данных и автоматизировать их применение, что особенно полезно при командной разработке. Однако использование Entity Framework связано с потенциально более низкой производительностью по сравнению с прямыми SQL-запросами из-за накладных расходов на абстракцию. Неправильное использование ленивой загрузки может привести к проблеме N+1 запроса. Для эффективной работы с EF требуется понимание особенностей контекста данных и механизмов отслеживания изменений.

Каждый из рассмотренных методов занимает свою нишу. PDO применяется в проектах на PHP, где важна гибкость и возможность смены СУБД в будущем. Например, проект может стартовать на SQLite, а затем быть перенесён на PostgreSQL или MySQL. Таким образом проекты могут быть перенесены или масштабированы без больших денежных затрат и возможных дополнительных проблем. MySQLi используется в высоконагруженных проектах, жёстко привязанных к MySQL, где требуется максимальная производительность и доступ к специфическим функциям. Entity Framework используется в проектах на платформе .NET а именно в компьютерных программах, мобильных приложениях, корпоративных порталов и так далее. В таких проектах приоритетом является скорость разработки и удобство поддержки кода, а не прямой контроль над каждым SQL-запросом. В реальных проектах выбор технологии часто определяется не только техническими характеристиками, но и сложившимся стеком команды, а также типом создаваемого продукта.

Литература

- [1]. Getting Data from the Database // Entity Framework Code First Succinctly : [англ.]. – Syncfusion, 2026. – Гл. 4. – URL: <https://www.syncfusion.com/succinctly-free-ebooks/entityframework/getting-data-from-the-database> (дата обращения: 03.03.2026). – Текст : электронный.
- [2]. MySQLi // PHP Manual : [сайт]. – PHP Group, 2026. – URL: <https://www.php.net/manual/ru/book.mysqli.php> (дата обращения: 04.03.2026). – Текст : электронный.
- [3]. Почему стоит пользоваться PDO для работы с базой данных / пер. с англ. // Хабр : [сайт]. – 2013. – 7 нояб. – URL: <https://habr.com/ru/articles/137664/> (дата обращения: 04.03.2026). – Текст : электронный.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ИНФЕРЕНСА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: МЕТРИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД

Стремительное развитие больших языковых моделей, сокращено LLM, и аппаратного обеспечения делает традиционные статические классификации вычислительных систем быстро устаревающими. В настоящей работе предлагается метрико-ориентированный подход к классификации, основанный на индексе производительности LLM, учитывающем объём видеопамяти, пропускную способность памяти и пиковую вычислительную мощность. Предложенный подход инвариантен к поколению аппаратного обеспечения и сохраняет актуальность при появлении новых архитектур.

Существующие классификации вычислительных систем привязаны к рыночным категориям и быстро теряют актуальность. То, что в 2024 году относилось к классу «высокая производительность», в 2026 году может оказаться недостаточным для базовых сценариев. Отсутствует универсальный способ отнести новую конфигурацию к определённому классу без ручного пересмотра таблиц соответствия.

Анализ архитектуры LLM и процессов инференса позволяет выделить три ключевых аппаратных параметра, определяющих производительность:

1. Объём видеопамяти (VRAM)

От VRAM зависит максимальный размер модели, который может быть загружен, а также длину контекста [1]. Недостаток VRAM делает запуск модели принципиально невозможным независимо от прочих характеристик.

2. Пропускная способность памяти (BW)

При генерации каждого токена необходимо передать все веса модели из памяти в вычислительные ядра. Для модели размером S (в гигабайтах) минимальное время генерации одного токена ограничено величиной S / BW . Для квантованных моделей, где вычисления относительно легки, именно BW становится основным узким местом [4].

3. Пиковая вычислительная мощность TFLOPS

Вычислительная мощность важна на этапе обработки входного запроса, где выполняются матричные умножения над большими тензорами. При генерации токенов задействована лишь малая часть вычислительных ядер, поэтому влияние TFLOPS на скорость генерации ограничено. Тем не менее, для малых моделей ($\leq 7B$) и при использовании высоких квантований TFLOPS может становиться лимитирующим фактором.

На основе анализа факторов предложена метрика – индекс производительности LLM, объединяющая три ключевых параметра:

$$LPI = \alpha * \ln(VRAM) + \beta * (BW) + \gamma * \ln(TFLOPS),$$

$$TFLOPS = \frac{\text{Кол.ядер} * \text{Такт.частота (ГГц)} * 2}{1000},$$

где VRAM измеряется в ГБ, BW – в ГБ/с, TFLOPS – в терафлопс. Использование логарифмов обусловлено нелинейным характером зависимости.

Для определения вклада каждого параметра в реальную производительность проведён множественный регрессионный анализ. Выборка включала 14 GPU различных поколений от GTX 1050 Ti до RTX 5070 с диапазоном VRAM от 4 до 24 ГБ, BW от 112 до 1800 ГБ/с, TFLOPS от 2 до 120. На каждой GPU выполнялся инференс эталонной модели Llama 3.1 8B в квантовании Q4_K_M с длиной контекста 2048 токенов. Фиксировалась скорость генерации как зависимая переменная [3].

После логарифмического преобразования построена регрессионная модель:

$$\ln\left(\frac{\text{токен}}{с}\right) = \alpha * \ln(VRAM) + \beta * \ln(BW) + \gamma * \ln(TFLOPS) + C$$

Метод наименьших квадратов дал результаты (все коэффициенты значимы при $p < 0.01$, $R^2 = 0.94$), представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты

Коэффициент	Значение	Стандартная ошибка	95% доверительный интервал
α (VRAM)	0.31	0.04	[0.23, 0.39]
β (BW)	0.58	0.05	[0.48, 0.68]
γ (TFLOPS)	0.11	0.03	[0.05, 0.17]
Константа C	-2.14	0.21	[-2.56, -1.72]

Полученные значения подтверждают теоретические предположения: пропускная способность памяти β вносит наибольший вклад в производительность инференса, тогда как пиковая вычислительная мощность γ играет второстепенную роль.

Таким образом, итоговая формула индекса производительности LLM принимает вид:

$$LPI = 0.31 * \ln(VRAM) + 0.58 * \ln(BW) + 0.11 * \ln(TFLOPS)$$

На основе анализа реальных сценариев использования LLM предложена шкала из пяти классов производительности, привязанных к типовым задачам, а не к конкретному аппаратному обеспечению [3].

Для практического ранжирования систем константа C может быть опущена, так как она не влияет на относительное сравнение.

Таблица 2. Классы производительности на основе LPI

Класс	Диапазон LPI	Характеристика	Типовые сценарии (2026 г.)
C1	< 3.0	Базовый	Микромодели (1–3B), сильно квантованные 7B (Q2), эксперименты, обучение
C2	3.0-4.5	Начальный	7B в Q5/Q8, 13B в Q4, ограниченный контекст, кодинг-ассистенты
C3	4.5-6.0	Средний	13B–30B в Q4/Q5, 70B в Q2, полноценные чат-боты, анализ документов
C4	6.0-7.5	Продвинутый	70B в Q4, 30B в FP16, multi-GPU конфигурации, исследовательские задачи
C5	≥ 7.5	Флагманский	70B+ в высоком квантовании, МоЕ-модели, кластерные решения

Важно подчеркнуть, что границы классов могут быть пересмотрены по мере появления новых архитектур моделей и методов сжатия, однако метод расчёта LPI остаётся неизменным [2]. Любая новая конфигурация GPU может быть однозначно отнесена к одному из классов на основе её аппаратных характеристик.

В работе предложен и обоснован метрико-ориентированный подход к классификации вычислительных систем для задач инференса больших языковых моделей. Индекс производительности LPI, основанный на объёме видеопамяти, пропускной способности памяти и пиковой вычислительной мощности, позволяет объективно сравнивать системы разных поколений и относить их к одному из пяти классов, привязанных к типовым сценариям использования.

Литература

- [1]Touvron, H. et al. "Llama 3: Open Foundation and Chat Models." 2024. – Режим доступа: <https://www.academax.com/FITEE/doi/10.1631/FITEE.2400458> (дата обращения: 13.03.2026).
- [2]Jacob, B. et al. "Quantization and Training of Neural Networks for Efficient Integer-Arithmetic-Only Inference." CVPR, 2018. – Режим доступа: https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2018/papers/Jacob_Quantization_and_Training_CVPR_2018_paper.pdf (дата обращения: 13.03.2026).
- [3]Gerganov, G. "llama.cpp: Inference of LLaMA model in pure C/C++." GitHub, 2023–2025. – Режим доступа: <https://github.com/ggml-org/llama.cpp> (дата обращения: 13.03.2026).
- [4]Williams, S. et al. "Roofline: An Insightful Visual Performance Model for Floating-Point Programs and Multicore Architectures." Communications of the ACM, 2009. – Режим доступа: <https://www.researchgate.net/publication/22042>

*В.В. Шеховцов, студ.; рук. А.И. Гаврилов, ст. преп.
филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЕКТОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ РУССКОЯЗЫЧНЫХ ОТЗЫВОВ

Анализ тональности текстов является одной из главных задач обработки естественного языка. Эта задача стала особенно актуальной из-за роста количества пользовательских отзывов на маркетплейсах и в социальных сетях. Определение тональности помогает компаниям быстро анализировать мнение пользователей и своевременно реагировать на обратную связь. Это позволяет выявлять проблемы и улучшать качество товаров и услуг.

В последние годы особое внимание уделяется методам векторизации текстов. Они позволяют представить текстовые данные в числовой форме, которая может быть использована алгоритмами машинного обучения. Выбор метода векторизации играет важную роль, так как от него во многом зависит точность дальнейшей классификации текстов.

Традиционные методы векторизации текстов основаны на статистических характеристиках текста.

Одним из наиболее простых методов является модель Bag of Words. На первом этапе на основе обучающей выборки формируется словарь, который содержит все уникальные слова из текстов. После этого каждый документ представляется в виде вектора. Размер такого вектора равен размеру словаря, а его значения показывают, сколько раз каждое слово встречается в документе. Данный метод имеет ряд ограничений. Он не учитывает порядок слов в тексте, не отражает смысловую близость между словами, а также приводит к появлению разреженных векторов большой размерности.

Метод TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) является развитием модели Bag of Words. Он позволяет учитывать не только частоту слова в отдельном документе, но и его распространенность во всей коллекции текстов. Основная идея метода заключается в том, что слова, которые встречаются почти во всех документах, обычно не помогают различать тексты по тональности. В то же время слова, характерные для небольшой группы документов, могут быть более информативными.

Значение TF-IDF определяется как произведение двух показателей. Первый показатель – TF (Term Frequency), который отражает частоту слова в конкретном документе. Второй показатель – IDF (Inverse Document Frequency), который показывает, насколько редко слово встречается во всей коллекции текстов. Таким образом, TF показывает значимость слова в рамках отдельного текста, а

IDF уменьшает вес слов, которые встречаются слишком часто и не несут важной смысловой информации.

Однако традиционные методы имеют ряд ограничений. Они не учитывают смысловую близость слов, а также плохо работают с редкими словоформами и словами, имеющими несколько значений. По этой причине в современных исследованиях используются дистрибутивные методы [1].

Одним из таких методов является Word2Vec. Он относится к классу нейросетевых моделей и используется для получения векторных представлений слов, которые также называют эмбедингами. Метод основан на предположении, что слова, которые встречаются в похожих контекстах, имеют близкие значения. Поэтому их векторы в многомерном пространстве также располагаются близко друг к другу. Модель имеет два основных варианта реализации: CBOW (Continuous Bag of Words) и Skip-gram. В модели CBOW, по окружающим словам, предсказывается пропущенное слово, а в модели Skip-gram решается обратная задача – по заданному слову определяется его контекст [2]. Полученные векторы могут использоваться в различных задачах обработки текстов, например для определения смысловой близости слов, кластеризации текстов и решения задач классификации.

Метод FastText, разработанный исследователями компании Facebook, является развитием модели Word2Vec. Его основное отличие заключается в том, что при обучении учитывается внутренняя структура слова. Слова разбиваются на символьные n -граммы, то есть на небольшие последовательности символов [3]. Благодаря этому модель может формировать векторные представления даже для слов, которые редко встречаются в обучающих данных или отсутствуют в них. Это особенно важно при работе с русскоязычными текстами, для которых характерно большое количество словоформ.

Несмотря на схожий принцип построения векторных представлений, методы Word2Vec и FastText имеют общее ограничение. Для их эффективного обучения требуется достаточно большой объем текстовых данных. При небольшом размере обучающей выборки такие модели могут показывать более низкую точность по сравнению со статистическими методами. Однако при наличии большого корпуса текстов нейросетевые методы обычно обеспечивают более высокое качество классификации.

Процесс построения анализатора для каждого метода векторизации включает несколько этапов. Сначала на обучающей выборке, содержащей размеченные отзывы, формируются векторные представления текстов. Для этого используются различные методы векторизации, такие как TF-IDF, Word2Vec и FastText. После этого полученные векторы вместе с метками классов подаются на вход алгоритму классификации. В данной работе в качестве алгоритма классификации используется метод логистической регрессии. В процессе обучения модель определяет параметры, которые позволяют по вектору нового отзыва определить его тональность.

Сравнительный анализ методов проводился с использованием метрик точности и F1-меры. Эти показатели позволяют объективно оценить

эффективность моделей. Экспериментальное исследование выполнялось на корпусе русскоязычных отзывов с маркетплейса Wildberries. Исходный набор данных содержит более ста пятидесяти тысяч отзывов с оценками от одной до пяти звезд. Для решения задачи бинарной классификации отзывы с оценками четыре и пять были отнесены к положительному классу, а отзывы с оценками один и два – к отрицательному. Отзывы с нейтральной оценкой были исключены из выборки. После выравнивания классов итоговый набор данных составил пятьдесят тысяч размеченных отзывов. Из них двадцать пять тысяч относятся к положительному классу и двадцать пять тысяч – к отрицательному. Далее данные были разделены на обучающую часть размером сорок тысяч отзывов и тестовую часть размером десять тысяч отзывов.

Процедура предобработки текстовых данных включала несколько этапов. Сначала все символы были приведены к нижнему регистру для унификации текстов. Затем выполнялась очистка текстов от шумовых элементов. Из текстов удалялись знаки пунктуации, специальные символы, числовые обозначения, интернет-ссылки и эмодзи, которые не влияют на определение тональности. Следующим этапом являлась токенизация, то есть разделение текстов на отдельные слова. После этого выполнялась лемматизация с использованием библиотеки `rumorphy2`. На данном этапе слова приводились к начальной словарной форме. Это позволяет рассматривать разные грамматические формы одного слова как один признак. На завершающем этапе из текстов удалялись стоп-слова. К ним относятся предлоги, союзы, местоимения и другие часто встречающиеся слова, которые не оказывают существенного влияния на результат классификации. После завершения предобработки для каждого метода векторизации проводилось обучение модели на основе метода логистической регрессии.

Таблица 1 – Сравнение методов векторизации на большой выборке

Метод векторизации	Точность	F1-мера
TF-IDF	0,83	0,82
Word2Vec	0,85	0,84
FastText	0,88	0,87

Наилучшее качество классификации показывает метод FastText. Его преимущество по сравнению с другими подходами связано с тем, что при обучении учитывается внутренняя структура слова с использованием символьных n-грамм. Это позволяет более эффективно обрабатывать редкие словоформы и различные грамматические варианты слов, которые характерны для русского языка.

Метод Word2Vec показывает несколько более низкие результаты. Это связано с тем, что в данной модели отсутствуют специальные механизмы работы с редкими словами и новыми словоформами, которые не встречались в обучающей выборке.

Метод TF-IDF, несмотря на простоту реализации и высокую скорость работы, демонстрирует наиболее низкие показатели качества. Это объясняется тем, что данный подход не учитывает смысловые связи между словами и рассматривает каждую словоформу как отдельный независимый признак.

Уменьшив выборку до десяти тысяч записей.

Таблица 2 – Сравнение методов векторизации на маленькой выборке

Метод векторизации	Точность	F1-мера
TF-IDF	0,81	0,80
Word2Vec	0,78	0,77
FastText	0,80	0,79

Как видно из полученных данных, наилучший результат показывает метод TF-IDF. Это объясняется тем, что данный подход основан на статистическом анализе частоты слов и не требует большого объема данных для обучения. Благодаря этому он демонстрирует стабильное качество классификации даже при ограниченном размере обучающей выборки.

Методы Word2Vec и FastText показывают более низкие значения точности и F1-меры. Это связано с тем, что для формирования качественных векторных представлений данным моделям требуется значительный объем текстовых данных. При уменьшении размера обучающей выборки модели получают меньше информации о контекстах слов, что снижает качество формируемых векторных представлений и, как следствие, точность классификации. При этом FastText демонстрирует несколько лучшие результаты по сравнению с Word2Vec благодаря учету внутренней структуры слов.

Исходя из проведенного исследования можно сделать вывод, что если нужен относительно точный и простой метод, который подойдет для любой выборки, то оптимальным выбором является метод TF-IDF. Но если сильно важна точность, то всё зависит от размера выборки. Если выборка достаточно мала, как в данном случае 10000 записей, то отлично подойдет всё тот же метод TF-IDF. Однако, чем больше выборка, тем лучше себя показывают нейросетевые подходы векторизации, и в особенности FastText.

Литература

- [1]. Mikolov T., Chen K., Corrado G., Dean J. Efficient Estimation of Word Representations in Vector Space // arXiv preprint arXiv:1301.3781. – 2013. – Режим доступа: <https://huggingface.co/papers/1301.3781> (дата обращения: 10.03.2026).
- [2]. Mikolov T., Sutskever I., Chen K., Corrado G., Dean J. Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality // Advances in Neural Information Processing Systems. – Режим доступа: <https://dl.acm.org/doi/10.5555/2999792.2999959> (дата обращения: 10.03.2026).
- [3]. Bojanowski P., Grave E., Joulin A., Mikolov T. Enriching Word Vectors with Subword Information // Transactions of the Association for Computational Linguistics. – 2017. – Vol. 5. – P. 135-146. – Режим доступа: https://direct.mit.edu/tacl/article/doi/10.1162/tacl_a_00051/43387/Enriching-Word-Vectors-with-Subword-Information (дата обращения: 12.03.2026).

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Задача сжатия изображений – это одна из самых востребованных задач обработки и хранения графических данных. С каждым днем ее значимость только растет. Причин несколько. Быстро растут объемы визуальной информации в интернете, социальных сетях и специализированных базах данных. Эффективные методы сжатия позволяют уменьшить требования к памяти и ускорить передачу изображений по каналам связи. В последние годы повысился интерес к разработке новых подходов к сжатию и новых форматов. Такие решения нужны для более высокой степени компрессии при сохранении приемлемого качества. Выбор метода и формата принципиально важен. Именно он определяет соотношение между размером файла и качеством изображения, влияет на скорость обработки и совместимость с разными устройствами.

Традиционные методы сжатия обычно базируются на математических преобразованиях и алгоритмах кодирования.

Если не самый распространенный, то один из них – это формат и метод JPEG. Сначала изображение переводится из RGB в YCbCr, затем яркостная и цветоразностные компоненты разделяются. После этого выполняется дискретное косинусное преобразование, которое переводит пространственную информацию в частотную область. Полученные коэффициенты квантуются с помощью таблиц квантования, чтобы отбросить высокочастотную информацию, так как она менее заметна для человеческого глаза. На завершающем этапе выполняется кодирование по алгоритму Хаффмана.

У метода есть ограничения. При высоких степенях сжатия появляются блочные артефакты. Метод не учитывает особенности зрительного восприятия и показывает низкую эффективность при сжатии изображений с резкими границами и текстом [1].

Формат JPEG 2000 является развитием стандарта JPEG. Использует метод сжатия на основе дискретного вейвлет-преобразования. Оно позволяет анализировать изображение на разных масштабах одновременно. Вейвлет-преобразование обеспечивает более плавное снижение качества при увеличении степени сжатия. Позволяет избежать блочных артефактов и за счет этого достигается лучшее качество при высоких степенях сжатия по сравнению с классическим JPEG. Метод требует значительно больших вычислительных ресурсов и имеет ограниченную поддержку в веб-браузерах [2].

Формат WebP разработала компания Google. Основан на технологиях сжатия видеокодеков, а именно на методе предсказания пикселей из видеокодека VP8. Сначала изображение анализируется и разделяется на блоки. Затем каждый следующий блок предсказывается на основе уже обработанных соседних блоков. Кодироваться не сами пиксели, а отклонения от предсказанных значений.

Остаточная информация после предсказания проходит дискретное косинусное преобразование и квантование. Данный метод поддерживает сжатие с потерями и без потерь [3].

Формат AVIF (AV1 Image File Format) использует метод сжатия AV1 от альянса Open Media. Изображение разбивается на блоки переменного размера. Для каждого блока разные режимы предсказания: направленное предсказание, линейная интерполяция, предсказание на основе цветовых палитр. После предсказания следует преобразование остатков. Используются дискретное косинусное или дискретное синусное преобразование. Затем применяется адаптивное квантование.

Формат HEIC (High Efficiency Image Container) разработан как часть стандарта HEIF (High Efficiency Image File Format). Использует метод сжатия HEVC (High Efficiency Video Coding), он же H.265. Как и в видео, изображение разбивается на блоки. Анализируются избыточные элементы и сохраняются только уникальные данные и изменения между блоками. Метод позволяет уменьшить размер файла на 40–60% по сравнению с JPEG. Качество при этом сопоставимое или даже выше. HEIC поддерживает 16-битную глубину цвета что дает более плавные градиенты и точную цветопередачу по сравнению с 8-битным JPEG.

Несмотря на разные подходы к сжатию, у традиционных методов есть общее ограничение. Они основаны на математических преобразованиях и статистических закономерностях, но не учитывают семантическое содержание изображений. Поэтому в современных исследованиях активно развиваются методы сжатия на основе глубокого обучения.

Одно из перспективных направлений – нейросетевые методы на основе вариационных автокодировщиков. Эти методы относятся к классу генеративных моделей и используются для получения компактного латентного представления изображений. Нейронная сеть учится кодировать исходное изображение в скрытое пространство меньшей размерности, а затем восстанавливать его с минимальными потерями.

У модели два основных компонента. Кодировщик, который преобразует изображение в скрытое представление и декодировщик, который восстанавливает изображение из этого представления.

Метод сжатия на основе генеративно-состязательных сетей – это развитие подхода с автокодировщиками. В отличие от предыдущего метода в данном методе при обучении дополнительно используют дискриминатор. Он оценивает реалистичность восстановленных изображений. Благодаря этому модель учится сохранять не только попиксельную точность, но и визуальную правдоподобность. Это особенно важно при высоких степенях сжатия. Традиционные методы в таких условиях создают заметные артефакты.

Для эффективного обучения нужен огромный объем данных и значительные вычислительные ресурсы, но, если вычислительные мощности и наборы данных достаточны, нейросетевые методы обеспечивают наилучшее качество восстановления среди всех существующих подходов.

Сравнительный анализ методов проводился с использованием метрик PSNR и SSIM. Исходный набор данных – изображения высокого разрешения в формате BMP без сжатия. Для сравнительного анализа все изображения были сжаты разными форматами и соответствующими методами сжатия. После сжатия для каждого изображения были вычислены PSNR и SSIM относительно исходной версии.

Предобработка включала несколько этапов. Сначала все изображения были приведены к единому цветовому пространству RGB для унификации сравнения. Затем были проверены на наличие метаданных, которые могли повлиять на размер файла. Из изображений были удалены служебные метаданные, не влияющие на визуальное содержание. На завершающем этапе изображения при необходимости были масштабированы к единому разрешению, для сопоставимости результатов.

После предобработки для каждого формата были измерены и вычислены результирующий размер файла и метрики качества.

Таблица 1 – Сравнение форматов и методов сжатия на фотографических изображениях

Формат файла	Метод сжатия	Качество	Размер (КБ)	Коэф. сжатия	PSNR (дБ)	SSIM
BMP	без сжатия	-	24576	1,0	-	1,00
JPEG	JPEG (CT)	85	1843	13,3	38,2	0,94
JPEG	JPEG (DCT)	50	742	33,1	32,5	0,87
WebP	WebP (VP8)	85	1240	19,8	39,1	0,96
WebP	WebP (VP8)	50	510	48,2	34,8	0,91
HEIC	HEVC (H.265)	85	950	25,9	40,2	0,97
HEIC	HEVC (H.265)	50	380	64,7	35,9	0,94
AVIF	AV1	50	430	57,2	36,2	0,93
PEG 2000	JPEG 2000 (DWT)	-	12500	1,97	∞	1,00

По результатам можно сделать вывод: наилучшее соотношение размера и качества для фотографических изображений показывают современные форматы HEIC и AVIF.

HEIC при среднем качестве обеспечивает коэффициент сжатия более 64 раз. При этом сохраняет высокие значения PSNR и SSIM. WebP показывает хорошие результаты особенно при высоких настройках качества, но при средних настройках уступает HEIC и AVIF по степени сжатия.

JPEG, несмотря на широкую распространенность и высокую скорость работы, показывает наиболее низкие показатели качества среди методов сжатия.

При высоких степенях сжатия появляются заметные блочные артефакты, что отражается в снижении SSIM до 0,87.

Таблица 2 – Сравнение форматов и методов сжатия на изображениях с текстом и графикой

Формат файла	Метод сжатия	Качество	Размер (КБ)	Коэф. сжатия	PSNR (дБ)	SSIM
BMP	без сжатия	-	5120	1,0	-	1,00
JPEG	JPEG (DCT)	85	410	12,5	36,5	0,91
JPEG	JPEG (DCT)	50	215	23,8	28,3	0,79
WebP	WebP (VP8)	85	325	15,8	38,9	0,95
WebP	WebP (VP8)	50	148	34,6	32,1	0,88
HEIC	HEVC (H.265)	85	280	18,3	39,5	0,96
HEIC	HEVC (H.265)	50	125	41,0	33,5	0,91
AVIF	AV1	50	130	39,4	33,8	0,90
PNG	Без потерь	-	890	5,8	∞	1,00

Для изображений с текстом и графикой наилучший результат также показывают современные форматы.

Литература

- [1]. Формат JPEG. Режим доступа: <https://media.contented.ru/glossary/jpeg-jpg/> (дата обращения: 14.03.2026).
- [2]. Глубокий анализ JPEG 2000 – Режим доступа: <https://www.pchardwarepro.com/ru/BV-jpeg-2000/> (дата обращения: 13.03.2026).
- [3]. Формат изображений WebP – Режим доступа: <https://timeweb.com/ru/blog/authors/space-police/articles/format-izobrazheniy-webp/> (дата обращения: 13.03.2026).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА КАЧЕСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

В статье рассматривается влияние недостаточной освещенности на качество обнаружения объектов в системах компьютерного зрения. Актуальность работы определяется тем, что современные средства автоматического анализа изображений и видеопотока широко применяются в системах видеонаблюдения, транспортного контроля, робототехнике и промышленной автоматизации, однако их работа в темное время суток и в слабоосвещенных помещениях по-прежнему сопровождается заметным снижением точности. Целью исследования является обобщение данных открытых научных источников о причинах ухудшения качества обнаружения объектов в условиях недостаточной освещенности и о подходах, позволяющих повысить устойчивость таких систем. В работе показано, что снижение качества связано не только с уменьшением яркости изображения, но и с падением контрастности, усилением шумов, неравномерностью освещения и недостаточной представленностью подобных сцен в обучающих выборках. Рассмотрены основные направления решения данной проблемы: предварительное улучшение изображения, совместная настройка этапов улучшения и обнаружения, формирование признаков, менее чувствительных к освещению, а также использование нескольких каналов наблюдения. Сделан вывод о том, что наибольший интерес представляют подходы, ориентированные не на общее улучшение визуального восприятия изображения, а на повышение качества последующего обнаружения объектов.

Ключевые слова: компьютерное зрение, обнаружение объектов, недостаточная освещенность, ночные изображения, обработка изображений, устойчивость моделей.

В настоящее время обнаружение объектов является одной из центральных задач компьютерного зрения. Оно применяется в охранных системах, при анализе дорожной обстановки, в беспилотных и робототехнических комплексах, а также в промышленных системах контроля. Высокая точность современных алгоритмов во многом обеспечивается использованием глубоких нейронных сетей и крупных открытых наборов данных. Вместе с тем качество работы таких систем заметно зависит от условий, в которых формируется изображение.

Одним из наиболее существенных факторов, ухудшающих результат обнаружения, выступает недостаточная освещенность. На практике подобные условия встречаются регулярно: в ночное время, в сумерках, в подземных парковках, на неосвещенных участках дорог, в складских и производственных помещениях. Для человека такие изображения часто остаются различимыми за счет способности воспринимать контекст сцены. Для вычислительной системы задача оказывается существенно сложнее, поскольку именно в условиях слабого

освещения резко снижается выразительность тех признаков, на которые опирается алгоритм при распознавании и локализации объектов.

Проблема недостаточной освещенности как самостоятельного фактора снижения качества была специально выделена в работах, посвященных набору данных ExDark. Авторы этого набора показали, что во многих широко используемых наборах данных изображения, полученные в темных сценах, представлены в ограниченном объеме, вследствие чего модели оказываются в большей степени приспособлены к хорошо освещенным условиям [1]. Это означает, что при переходе от типовых изображений к реальным ночным сценам возникает расхождение между условиями обучения и условиями практического применения. В таких случаях даже высокая точность на стандартных испытательных выборках не гарантирует устойчивой работы системы в реальной среде.

Следует отметить, что недостаточная освещенность не сводится к простому уменьшению яркости. Она сопровождается комплексом взаимосвязанных искажений. Прежде всего снижается контраст между объектом и фоном, из-за чего контуры становятся менее отчетливыми. Кроме того, хуже различаются мелкие детали, которые играют важную роль при распознавании класса объекта. Дополнительную сложность вносит цифровой шум, усиливающийся при съемке в темных сценах. Наконец, во многих случаях освещение в кадре распределено неравномерно: одни участки изображения оказываются слишком темными, другие – освещены локальными источниками света, что затрудняет формирование устойчивого описания сцены.

Проблема усугубляется тем, что традиционные крупные наборы данных для обнаружения объектов, в том числе СОСО, изначально создавались как универсальная основа для решения широкого круга задач компьютерного зрения [2]. Такие наборы сыграли ключевую роль в развитии современных методов, однако они не ориентированы специально на условия недостаточной освещенности. Поэтому система, успешно работающая на типовых изображениях, может допускать заметное число пропусков и ложных срабатываний на темных кадрах. Наиболее уязвимыми в таких условиях оказываются небольшие объекты, а также объекты, близкие по яркости к фону.

В научной литературе предлагается несколько основных направлений решения рассматриваемой проблемы. Наиболее очевидный путь состоит в предварительной обработке изображения. В этом случае исходный кадр сначала подвергается усилению яркости, повышению контрастности или более сложной коррекции, а уже затем передается в систему обнаружения. Подобный подход представляется естественным, поскольку улучшение видимости объекта должно способствовать его более надежному выделению. Однако дальнейшие исследования показали, что прямолинейное усиление изображения далеко не всегда приводит к желаемому результату [3]. В ряде случаев одновременно с полезными деталями усиливаются шум и артефакты, а изменения в структуре яркости могут даже ухудшать признаки, важные для распознавания.

По этой причине в более поздних работах внимание сместилось в сторону подходов, где обработка изображения рассматривается не как самостоятельная задача, а как часть общей процедуры обнаружения объектов. В таком случае задача состоит не в том, чтобы сделать изображение визуально более привлекательным, а в том, чтобы сохранить или усилить именно те особенности сцены, которые помогают системе точнее выделять объекты. Подобная постановка представляется более оправданной с прикладной точки зрения, поскольку она учитывает конечную цель обработки. В работах последних лет подчеркивается, что выигрыш чаще достигается тогда, когда улучшение изображения согласовано с задачей последующего анализа [3].

Еще одно важное направление связано с формированием признаков, менее чувствительных к освещенности сцены. В этом случае исследователи стремятся добиться того, чтобы система опиралась не только на абсолютные значения яркости, но и на более устойчивые характеристики объекта: форму, пространственные соотношения, локальную структуру и другие признаки. Такой подход развивается в современных работах, где устойчивость к недостаточной освещенности обеспечивается не только на уровне входного изображения, но и на уровне внутренних представлений модели [4]. Содержательно это означает переход от простой коррекции кадра к более глубокому учету природы искажений, возникающих при съемке в темных условиях.

Отдельный интерес представляют методы, использующие несколько источников информации одновременно. Речь идет о сочетании обычного изображения с тепловизионными, инфракрасными или иными данными. В условиях слабого освещения такой подход особенно важен, поскольку объект может быть плохо различим в видимом диапазоне, но при этом уверенно выделяться в другом канале наблюдения. В обзорных работах подчеркивается, что многоканальные системы являются одним из наиболее перспективных направлений для задач, связанных с ночным наблюдением, транспортным контролем и безопасностью [3]. В то же время следует учитывать, что такие решения обычно сложнее в технической реализации и предъявляют повышенные требования к синхронизации и обработке данных.

Анализ открытых источников показывает, что устойчивость к недостаточной освещенности нельзя обеспечить одним универсальным приемом. Повышение яркости само по себе не решает проблему, если система по-прежнему обучена преимущественно на хорошо освещенных данных. Аналогично, расширение обучающей выборки дает ограниченный эффект, если признаки, извлекаемые моделью, остаются слишком зависимыми от световых условий. По этой причине наиболее обоснованным представляется комплексный подход, включающий использование специализированных наборов данных, учет особенностей темных сцен при построении модели и согласование предварительной обработки изображения с задачей обнаружения объектов.

Практическая значимость рассматриваемой проблемы очевидна. Для систем видеонаблюдения недостаточно уверенная работа в темное время суток означает рост вероятности пропуска значимых событий. Для транспортных систем

ошибка обнаружения может привести к снижению надежности оценки дорожной обстановки. В робототехнических приложениях недостаточная устойчивость к освещенности ограничивает возможность работы в неструктурированной среде. Следовательно, исследование причин деградации качества и поиск путей ее преодоления представляют не только теоретический, но и прикладной интерес.

Таким образом, проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что недостаточная освещенность является самостоятельным и существенным фактором снижения качества обнаружения объектов в системах компьютерного зрения. Основные причины ухудшения результата связаны с ослаблением контрастности, потерей локальных деталей, усилением шумов и недостаточной представленностью темных сцен в открытых обучающих выборках. Современные исследования показывают, что наибольший эффект дают подходы, в которых улучшение изображения подчинено задаче обнаружения объектов, а также методы формирования признаков, более устойчивых к изменению световых условий. Полученные выводы могут быть использованы при разработке и выборе систем компьютерного зрения, предназначенных для работы в условиях ограниченной видимости.

Литература

- 1]. Loh Y. P., Chan C. S. Getting to Know Low-light Images with The Exclusively Dark Dataset // Computer Vision and Image Understanding. 2019. Vol. 178. P. 30–42.
- [2]. Lin T.-Y., Maire M., Belongie S. et al. Microsoft COCO: Common Objects in Context // European Conference on Computer Vision. 2014. P. 740–755.
- [3]. Singh S., Dhasarathan V., Pratap M. et al. A systematic review of deep learning methods for low-light image enhancement and object detection // Discover Applied Sciences. 2025. Vol. 7. Art. 234.
- [4]. Cheng S., Fan H., Hong M., Huang H., Liu S. You Only Look Around: Learning Illumination-Invariant Feature for Low-light Object Detection // Advances in Neural Information Processing Systems. 2024.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОШАГОВЫХ И ТРАНСФОРМЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ОБЪЕКТОВ: YOLO11 И RT- DETRV2

В настоящее время детекция объектов в видеопотоке в реальном времени является одной из наиболее востребованных задач компьютерного зрения [5]. Подобные технологии находят применение в системах видеонаблюдения, робототехнике, транспортной аналитике, промышленной автоматизации и других областях, где необходимо не только точно обнаруживать объекты, но и выполнять обработку данных с высокой скоростью. Недостаточная производительность приводит к пропуску кадров, а большие задержки снижают оперативность работы системы, что особенно критично для приложений реального времени.

Среди современных подходов к решению задачи детекции объектов особый интерес представляют одношаговые модели семейства YOLO и трансформерные детекторы класса RT-DETR [1, 2]. Одношаговые детекторы ориентированы прежде всего на высокую скорость работы, тогда как трансформерные модели стремятся обеспечить более точную локализацию объектов за счёт использования механизмов внимания. В связи с этим возникает практическая задача сравнения указанных подходов не только по показателям качества, но и по временным характеристикам при работе в условиях реального видеопотока.

В данной работе представлен воспроизводимый эксперимент по сравнению предобученных детекторов объектов без дополнительного дообучения: семейства одношаговых моделей YOLO11 и семейства трансформерных детекторов RT-DETRv2 [1, 2]. Сравнение включает оценку качества на наборе COCO val2017 по метрикам COCOeval, в том числе mAP@[0.50:0.95], AP50, AP75, а также AP для объектов малого, среднего и крупного размера [3]. Кроме того, выполнена оценка производительности на видео по средней пропускной способности и квантилям задержки обработки кадра. Экспериментальная методика и скрипты запуска оформлены в виде открытого репозитория, содержащего манифест программного окружения и средства запуска на GPU, что обеспечивает воспроизводимость полученных результатов в открытом GitHub-репозитории [4].

В работе рассматриваются два семейства моделей. Первое из них – YOLO11, реализованное в библиотеке Ultralytics и включающее варианты n, s, m, l и x [1]. Эти модели относятся к одношаговым безъякорным детекторам и ориентированы на применение в задачах реального времени. Второе семейство – RT-DETRv2, представленное вариантами r18, r34, r50 и r101 [2]. Данный подход сочетает свёрточный извлекатель признаков и трансформерный декодер, что позволяет достигать высокой точности обнаружения объектов при приемлемой, хотя и более низкой, производительности. Таким образом, сравнение направлено

на сопоставление двух разных архитектурных подходов – свёрточного и трансформерного – с точки зрения компромисса между качеством детекции и вычислительной эффективностью.

Для проведения эксперимента использовался набор данных COCO val2017, включающий 5000 изображений, а также тестовый видеоролик vtest.avi [3]. Во всех экспериментах использовалось входное разрешение 640×640 пикселей, а параметры детекции были зафиксированы: $\text{conf} = 0.001$ и $\text{iou} = 0.7$. Оценка качества осуществлялась с использованием библиотеки COCOeval [3]. Производительность определялась по средней пропускной способности и квантилям сквозной задержки обработки кадра, включающей этапы предварительной обработки, инференса и постобработки. Все измерения проводились после предварительного прогрева модели на фиксированном числе кадров, без учёта времени декодирования видеопотока, что позволило получить корректные и сопоставимые результаты.

Экспериментальная часть выполнялась на вычислительной системе под управлением операционной системы Linux с использованием графического ускорителя NVIDIA GeForce RTX 4070. Программная среда включала PyTorch 2.10.0+cu128, библиотеку Ultralytics 8.4.14 и пакет Transformers 5.1.0.

Результаты оценки качества предобученных моделей представлены в таблице 1. Анализ показывает, что в семействе YOLO11 метрика mAP@[0.50:0.95] закономерно возрастает с увеличением масштаба модели: от 0,3872 у yolo11n до 0,5370 у yolo11x. Схожая тенденция наблюдается и для RT-DETRv2: от 0,4419 у версии r18 до 0,5009 у r101. При этом наиболее крупные модели обоих семейств демонстрируют достаточно близкие значения интегральной точности.

Таблица 1 – Метрики качества COCOeval для моделей YOLO11 и RT-DETRv2

Модель	mAP@[0.50:0.95]	AP50	AP75	AP small	AP medium	AP large
yolo11n.pt	0.3872	0.5421	0.4215	0.1961	0.4245	0.5611
yolo11s.pt	0.4597	0.6259	0.4956	0.2842	0.5045	0.6297
yolo11m.pt	0.5063	0.6732	0.5506	0.3292	0.5600	0.6681
yolo11l.pt	0.5243	0.6891	0.5719	0.3477	0.5818	0.6848
yolo11x.pt	0.5370	0.7043	0.5843	0.3656	0.5899	0.6864
PekingU/rt detr_v2_r18vd	0.4419	0.5992	0.4795	0.2792	0.4772	0.5949
PekingU/rt detr_v2_r34vd	0.4590	0.6229	0.4980	0.2984	0.4955	0.6160
PekingU/rt detr_v2_r50vd	0.4921	0.6611	0.5315	0.3356	0.5394	0.6595
PekingU/rt detr_v2_r101vd	0.5009	0.6726	0.5424	0.3313	0.5498	0.6715

Сравнение моделей по размерам объектов показывает, что YOLO11 имеет заметное преимущество при детекции малых объектов. Так, у yolo11x значение AP small составляет 0,3656, тогда как у RT-DETRv2-r101 оно равно 0,3313. Для

крупных объектов различия уже значительно менее выражены: AP large для указанных моделей составляет 0,6864 и 0,6715 соответственно. Это позволяет сделать вывод о том, что при сценах с большим количеством мелких объектов предпочтение может быть отдано более крупным версиям YOLO11, тогда как при работе с крупными объектами обе архитектуры дают сопоставимые результаты.

Результаты оценки производительности моделей в реальном видеопотоке представлены в таблице 2. Полученные данные свидетельствуют о значительном преимуществе семейства YOLO11 по временным характеристикам. Наиболее лёгкие версии YOLO11, а именно n и s, обеспечивают более 156 кадров в секунду при медианной задержке около 6,2 мс. Даже наиболее крупная модель семейства, yolo11x, показывает 93,50 FPS при p95-задержке 11,93 мс.

Таблица 2 – Показатели пропускной способности и задержек моделей YOLO11 и RT-DETRv2 в видеопотоке

Модель	FPS mean	p50 (мс)	p95 (мс)	p99 (мс)
yolo11n.pt	156.30	6.17	7.40	9.44
yolo11s.pt	156.41	6.22	7.32	8.32
yolo11m.pt	135.92	7.27	7.79	8.51
yolo11l.pt	96.87	10.29	10.54	10.76
yolo11x.pt	93.50	10.47	11.93	13.15
PekingU/rt detr_v2_r18vd	50.66	19.48	21.21	23.19
PekingU/rt detr_v2_r34vd	43.43	22.79	24.53	25.74
PekingU/rt detr_v2_r50vd	35.46	27.72	32.31	34.89
PekingU/rt detr_v2_r101vd	29.79	33.11	36.65	40.44

Модели RT-DETRv2 работают заметно медленнее. Версия r18 достигает 50,66 FPS, а RT-DETRv2-r101 – лишь 29,79 FPS при p95-задержке 36,65 мс. Таким образом, по пропускной способности трансформерные модели уступают YOLO11 примерно в три раза. Кроме того, YOLO11 демонстрирует более стабильные значения задержек: разница между p99 и p50 у этих моделей составляет в среднем от 2 до 4 мс, тогда как у RT-DETRv2 этот разброс достигает 7 мс. Это особенно важно для систем реального времени, где стабильность времени отклика играет не меньшую роль, чем средняя скорость обработки.

Для наглядного сопоставления качества и скорости обработки в работе также был построен график зависимости mAP@[0.50:0.95] от FPS mean. Анализ графика показывает, что семейство YOLO11 формирует более выгодный компромисс между точностью и скоростью, особенно в задачах, где важна высокая частота обработки кадров. В то же время RT-DETRv2 может представлять интерес в сценариях, где допустимо снижение скорости ради сохранения высокой точности, однако в рамках настоящего эксперимента преимущество по совокупности характеристик остаётся за YOLO11.

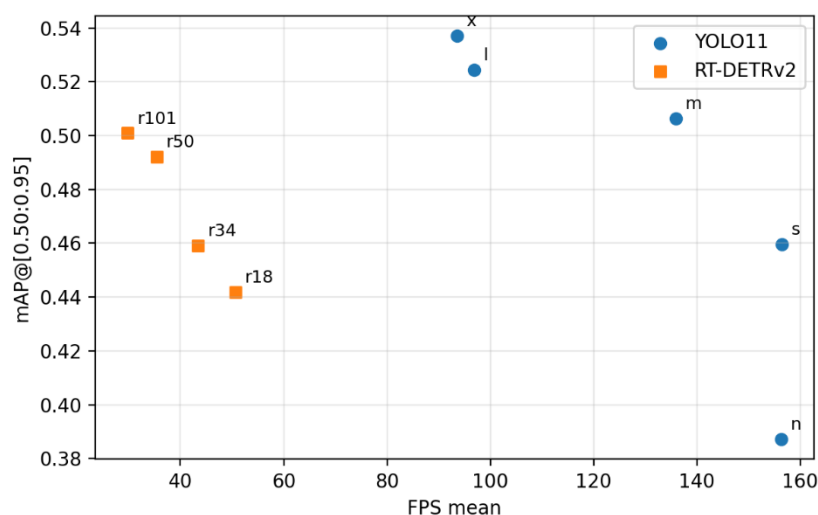


Рисунок 1 – Зависимость точности детекции ($mAP@[0.50:0.95]$) от средней пропускной способности (FPS) для моделей YOLO11 и RT-DETRv2

Таким образом, проведённое исследование показало, что при близкой интегральной точности одношаговые модели YOLO11 превосходят RT-DETRv2 по временным характеристикам и стабильности обработки. Особенно заметно это преимущество в задачах реального времени, где критичны высокая пропускная способность и низкие задержки. При этом трансформерные модели RT-DETRv2 также демонстрируют конкурентоспособные показатели качества, что подтверждает перспективность данного направления, однако в рассматриваемых условиях они уступают по вычислительной эффективности.

Полученные результаты могут быть использованы при выборе архитектуры детектора объектов для практических систем видеонаблюдения, робототехнических комплексов и других приложений, связанных с обработкой видеопотока в реальном времени.

Литература

- [1]. Ultralytics. YOLO11: Documentation and Models. Ultralytics, 2025. Режим доступа: <https://docs.ultralytics.com/models/yolo11/> (дата обращения: 20.02.2026).
- [2]. Wang Y., Li K., Li Y., Wang J. RT-DETRv2: Improved Baseline with Bag-of-Freebies for Real-Time Detection Transformer // arXiv preprint arXiv:2407.17140. 2024. 12 с.
- [3]. Lin T.-Y., Maire M., Belongie S. Microsoft COCO: Common Objects in Context // European Conference on Computer Vision. 2014. С. 740–755.
- [4]. Haldorsfjall. Realtime-object-detection-benchmark: GitHub-репозиторий бенчмарка сравнения детекторов YOLO11 и RT-DETRv2. 2026. Режим доступа: <https://github.com/Haldorsfjall/realtime-object-detection-benchmark> (дата обращения: 20.02.2026).
- [5]. Zhao Y., Lv W., Xu S., Wei J., Wang G., Dang Q., Liu Y., Chen J. DETRs Beat YOLOs on Real-time Object Detection // Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2024.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

1.	<i>Арбузов К.О., Корнеев К.Е., Федотов В.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗАДАТЧИКА ИНТЕНСИВНОСТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ</i>	3
2.	<i>Вавиленков М.А. ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОРОТКОЗАМКНУТОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОНИЖЕННОЙ КРАТНОСТЬЮ ПУСКОВОГО ТОКА</i>	7
3.	<i>Вертогузов Д.А. ПРИМЕНЕНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ С НИЗКООМНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ</i>	10
4.	<i>Вертогузов Д.А., Мартынов М.Е. ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ЗАВИСИМОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ВРЕМЕНИ В СЕТЯХ 6-10 кВ</i>	13
5.	<i>Гайкалов М.О. Шулакова Д.А. ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПРИ ПИТАНИИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</i>	16
6.	<i>Давыдов В.В., Захаров В.О. ОЦЕНКА НАДЁЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЁТОМ ИТ ИНФРАСТРУКТУРЫ</i>	20
7.	<i>Добренкова А.Д. ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ: ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ</i>	26
8.	<i>Елисеенко Р.А., Зазыкин С.А. СНАББЕРНЫЕ ЦЕПИ В СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ</i>	31
9.	<i>Зазыкин С.А., Елисеенко Р.А. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ</i>	36
10.	<i>Зантария К.Р., Вертогузов Д.А. ЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ТРАНСФОРМАТОРА 6-35 кВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ РЗА</i>	40
11.	<i>Кирееенкова Е.Д. КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВОГО УПРАВЛЕНИЯ (СИФУ)</i>	43
12.	<i>Кудряшов А.С. СТАБИЛИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ</i>	48
13.	<i>Михайлов А.А. ГЕНЕРАТОР ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ЗВУКА</i>	52
14.	<i>Сухиненко Д.С. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ</i>	55
15.	<i>Трофименко С.Р. ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПЕЧАТНОЙ ПЛАТЫ БЕЗДАТЧИКОВЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С ФУНКЦИОНАЛЬНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЗАДАЧ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРАХ</i>	61

16.	<i>Федотов В.В. АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕХФАЗНОГО ТРЕХКЛЮЧЕВОГО ТРАНЗИСТОРНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ</i>	65
17.	<i>Хоровец Д.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА</i>	71
18.	<i>Шулакова Д.А. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</i>	74
19.	<i>Шулакова Д.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</i>	77
20.	<i>Шулакова Д.А. СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ СИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ</i>	82
21.	<i>Юденков Е.Р. ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩЕГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ</i>	86
22.	<i>Магидов Р.Е. МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА С УЧЁТОМ ЗОН ПОВЫШЕННОЙ ВИБРАЦИИ</i>	90
23.	<i>Магидов Р.Е. ВЫБОР ТИПА ПРИВОДА СВЕРЛИЛЬНОГО СТАНКА ПРИ ЧАСТОТНОМ УПРАВЛЕНИИ</i>	93

СЕКЦИЯ 2 ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

1.	<i>Голузова И.В., Ткачева У.А. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ</i>	96
2.	<i>Голузова И.В., Ткачева У.А. ЭКОНОМИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ</i>	100
3.	<i>Харламов П.С., Чернова Е.А. МЕТОДЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ В ЗАДАЧАХ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА НАДЕЖНОСТИ В СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫХ ПРОЦЕССАХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА</i>	104
4.	<i>Щеглов И.Д. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ СМОЛЕНСКОЙ ТЭЦ-2 С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ИНТЕГРАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ</i>	108
5.	<i>Янчук В.В. АБСОРБЦИОННЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС С ГАЗОВЫМ ПРИВОДОМ НА ПРОМЫШЛЕННО-ОТОПИТЕЛЬНОЙ ТЭЦ</i>	111

СЕКЦИЯ 3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

1.	<i>Абрамов А.П. АНАЛИЗ ВЕРСИЙ ПРОТОКОЛА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ MODBUS</i>	114
2.	<i>Андрющенкова А.А. ПРОМЫШЛЕННЫЙ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ: БЕЗОПАСНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</i>	118
3.	<i>Антонов С.В. ИМПУЛЬСНОЕ СЦЕНАРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ КОНИТИВНЫХ КАРТ</i>	122

4.	<i>Бакулин А.А. ТЕХНИЧЕСКИЙ АУДИТ ВЕБ-РЕСУРСОВ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГА</i>	126
5.	<i>Береснев Б.А. ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ</i>	131
6.	<i>Борисов Э.К. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УЧЕТА УСЛУГ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УГРОЗ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ</i>	135
7.	<i>Василенко П.Н. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА MODBUS RTU ДЛЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МИКРОКЛИМАТА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ</i>	138
8.	<i>Василенко П.Н. РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СУШИЛЬНОЙ КАМЕРОЙ НА БАЗЕ CODESYS 3.5</i>	142
9.	<i>Вашипапов П.В. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРОКАТА СПОРТИВНОГО СНАРЯЖЕНИЯ</i>	146
10.	<i>Власов А.Д. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ТРЕНАЖЕРА С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ АССИСТЕНТОМ НА ОСНОВЕ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ</i>	149
11.	<i>Волкова Е.С. АРХИТЕКТУРА ЗАЩИТЫ ИНФРАСТРУКТУРЫ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО АВТОЭНКODЕРА</i>	155
12.	<i>Волкова Е.С. АРХИТЕКТУРНЫЕ ОСНОВЫ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СХЕМЫ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ В РОЯХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫХ УСТРОЙСТВ</i>	160
13.	<i>Волкова Е.С. МЕХАНИЗМ КОЛЛЕКТИВНОЙ ВЕРИФИКАЦИИ УЗЛОВ И ОБНОВЛЕНИЯ КЛЮЧЕЙ В РОЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ И НАЗЕМНЫХ УСТРОЙСТВ</i>	165
14.	<i>Воробьев М.С. ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА СХЕМЫ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ КОНВЕКТИВНОГО ЧЛЕНА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ПЕРЕНОСА В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ</i>	169
15.	<i>Воротилова М.Ю. ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИО-КИБЕРФИЗИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ</i>	173
16.	<i>Галиновская С.А. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ НЕЙРОСЕТЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ: КЛАССИФИКАЦИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ</i>	176
17.	<i>Гришин И.С., Родяхин Г.С. АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ НЕЙРОННЫХ МОДЕЛЕЙ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССЫ</i>	182
18.	<i>Гришин И.С. КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВЫХ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ И ИХ ПЕРВИЧНЫХ ПРИЗНАКОВ ПО ДАННЫМ ВИБРОДАТЧИКОВ</i>	186
19.	<i>Гришин И.С. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБЪЕМА ХРАНИЛИЩА ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ВИБРОДИАГНОСТИКИ</i>	189

20.	<i>Деева Я.В. СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ К СОЗДАНИЮ ИГРОВОГО МИРА В ДВУМЕРНОЙ РОЛЕВОЙ ИГРЕ</i>	192
21.	<i>Дудин А.Е. ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДОВ ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОНИКНОВЕНИЕ ДЛЯ КОРПОРАТИВНЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ</i>	197
22.	<i>Житушкин М.А. ОБЗОР И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ-АНАЛОГОВ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ</i>	200
23.	<i>Иванова Т.А. РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕМЕЙНОЙ АПТЕЧКОЙ НА ANDROID</i>	204
24.	<i>Иванцов Т.С. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ВИБРОИСПЫТАНИЙ</i>	208
25.	<i>Исаев И.В. ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К УСТРАНЕНИЮ НЕДОСТАТКОВ МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АГЕНТА НА ОСНОВЕ LSTM</i>	212
26.	<i>Ищенко М.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУРНЫХ ПОДХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ ДАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ВЕБ-ПЛАТФОРМ ДЛЯ ВИЗУАЛЬНОГО КОНТЕНТА</i>	216
27.	<i>Карагузов А.И. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ УПРАВЛЕНИЯ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ</i>	220
28.	<i>Киселев А.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЗАЩИЩЕННОЙ СЕТЕВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	223
29.	<i>Клюев К.С. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА КОНТЕКСТНО-ЗАВИСИМОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИГРОКА С ОБЪЕКТАМИ В 3D-СРЕДЕ</i>	228
30.	<i>Клюев А.В. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕРВЕРНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ</i>	231
31.	<i>Ковалев Д.Л. АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АРХИТЕКТУР В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧИ</i>	235
32.	<i>Ковальков Д.В. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ОШИБОК НАЧИНАЮЩИХ БАРАБАНИЩИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ С MIDI-КОНТРОЛЛЕРОВ</i>	239
33.	<i>Козлов Г.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ТРЕНДОВ И ГЕНЕРАЦИИ СИГНАЛОВ В ТОРГОВЫХ ТЕРМИНАЛАХ</i>	242
34.	<i>Козлова И.М. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ РЕАЛИЗАЦИИ АВТОЗАПЧАСТЕЙ: ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ</i>	247
35.	<i>Козловский И.А. ОБЗОР И АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНОГО РАСПИСАНИЯ</i>	250
36.	<i>Колтачков А.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОТОКОЛА MSCP В ЭКОСИСТЕМЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕРВИСОВ</i>	254
37.	<i>Косенко И.П. ПРОМПТ-ИНЖИНИРИНГ КАК НОВАЯ ПАРАДИГМА ПРОГРАММИРОВАНИЯ: ОТ ЭКСПЕРИМЕНТА К ИНЖЕНЕРНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ</i>	259

38.	<i>Красиков В.П. ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К РЕАЛИЗАЦИИ БЕСКОНТАКТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ УПРАВЛЕНИЯ</i>	264
39.	<i>Круглякова М.В. КУМУЛЯТИВНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ УЯЗВИМОСТЕЙ СТОРОННИХ БИБЛИОТЕК</i>	267
40.	<i>Круглякова М.В. УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СИСТЕМНОЙ ИНТЕГРАЦИИ</i>	271
41.	<i>Кузьменок Д.Ю. КЛАССИФИКАЦИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ ЗАДАЧ И РАЗРАБОТКА ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИХ РЕШЕНИЯ</i>	275
42.	<i>Куликов И.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ГИБРИДНОГО ПОДХОДА НА ОСНОВЕ VILSTM И GAN ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ АНОМАЛИЙ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ</i>	280
43.	<i>Кульпин А.М. ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ГРАФИКИ ИГРОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА</i>	284
44.	<i>Кунавич К.А. РАЗРАБОТКА СЕРВИС-ОРИЕНТИРОВАННОЙ АРХИТЕКТУРЫ (SOA) ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</i>	287
45.	<i>Кутяйкин А.В. О РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЦЕНТРА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ</i>	290
46.	<i>Лазарев А.И. АНАЛИЗ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ МУЛЬТИМОДАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КОНТЕКСТЕ МОНИТОРИНГА КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ</i>	294
47.	<i>Лазарев А.И. АНАЛИЗ СИГНАТУРНЫХ И ПОВЕДЕНЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЕТЕВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ</i>	298
48.	<i>Лакомова Д.В. СНИЖЕНИЕ РИСКОВ УТЕЧКИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНЫХ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ</i>	302
49.	<i>Логутова Т.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ ТОПЛИВА НА ТЭЦ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА СКОЛЬЗЯЩЕГО СРЕДНЕГО</i>	307
50.	<i>Любенкова А.О. УСТОЙЧИВОСТЬ И СИНХРОНИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ: ОБЗОР И РАЗВИТИЕ МОДЕЛЕЙ</i>	312
51.	<i>Мажсаев Е.П. АНАЛИЗ И МИНИМИЗАЦИЯ РИСКОВ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИНТЕГРАЦИИ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ СНАТGPT) В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПЕРЕВОЗКАМИ</i>	315
52.	<i>Макаёв А.Ю. МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПРОВЕДЕНИЯ ОПРОСОВ</i>	319
53.	<i>Макарова К.С. ФОРМАЛИЗОВАННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ПЛАТФОРМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ</i>	323

54.	Максоцкий В.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ОРГАНИЗАЦИИ	327
55.	Матющенко К.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ КОМПЬЮТЕРНЫХ ИГР	331
56.	Меньшиков Е.Д. ВЛИЯНИЕ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ СТАНДАРТОВ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ	334
57.	Михальков И.А. МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И ВЛАЖНОСТИ	338
58.	Моликов П.А., Цыганков А.С. СИНТЕЗ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ: СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ	342
59.	Моторико В.Д. АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ АРХИТЕКТУРЫ КОРПОРАТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	346
60.	Муравченков П.В. АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ И РЕШЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ АДРЕСНОГО ХРАНЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В АИС	351
61.	Муравченков П.В. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ RULE-BASED ПРАВИЛ АДРЕСНОГО ХРАНЕНИЯ ДАННЫХ В АИС	354
62.	Набиев Д.М. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПРОАКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СТЕНДОВ ОТ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ	358
63.	Оболенков И.А. ОБЗОР И СРАВНЕНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДВУХФАКТОРНОЙ АУТЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ TOTP	362
64.	Обухов В.С. МЕТОДЫ УСТРАНЕНИЯ ЛАГОВ И ДЖИТТЕРА В ОНЛАЙН- ИГРАХ	365
65.	Орешкин А.Ю. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ ТЕКСТОВЫХ ОБРАЩЕНИЙ В СЛУЖБУ ПОДДЕРЖКИ	369
66.	Панасов В.О. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ДАННЫХ НА РЫНКЕ ЦЕННЫХ БУМАГ	372
67.	Потапенко А.Е. ЦИФРОВАЯ СРЕДА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ «СТУДЕНТ– ПРЕПОДАВАТЕЛЬ»: ТРЕБОВАНИЯ, ФУНКЦИОНАЛ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ	375
68.	Прусов М.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ВЕБ-ПРОГРАММИРОВАНИИ	377
69.	Радионова П.А. ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ХРАНЕНИЯ УЧЕТНЫХ ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ	380
70.	Родяхин Г.С. МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ОТ РАСПРОСТРАНЕННЫХ УЯЗВИМОСТЕЙ (НА ПРИМЕРЕ SQL- ИНЪЕКЦИЙ И XSS-АТАК)	385

71.	<i>Родяхин Г.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АРХИТЕКТУР НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ДООБУЧЕНИЯ НА РАСПОЗНАВАНИЕ ЛИЦ</i>	389
72.	<i>Родяхин Г.С. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФРЕЙМВОРКОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ НА ЯЗЫКЕ PYTHON (DJANGO VS FASTAPI)</i>	392
73.	<i>Рыклин А.А. РАЗРАБОТКА ТРЁХУРОВНЕВОЙ АРХИТЕКТУРЫ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ НА ФРЕЙМВОРКЕ BLAZOR WEBASSEMBLY</i>	396
74.	<i>Сапожников А.С. ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ВЕЩАНИЯ В ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ СИСТЕМАХ</i>	400
75.	<i>Сидельникова А.С. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УПРАВЛЕНИИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ</i>	405
76.	<i>Смирнова А.И. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «АССИСТЕНТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ ВНЕКЛАССНОЙ РАБОТЫ»</i>	410
77.	<i>Солдатенкова А.Р. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ ДАННЫХ И ИХ РОЛЬ В ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ</i>	413
78.	<i>Степочкин И.Н. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ</i>	417
	<i>Сырченков Я.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНА: ГОТОВЫЕ CMS ПРОТИВ СОБСТВЕННОЙ РАЗРАБОТКИ</i>	422
79.	<i>Тарасов Д.Д. ИНТЕГРАЦИЯ ETL-ПРОЦЕССОВ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ</i>	426
80.	<i>Фролова Н.С. АДАПТИВНЫЙ ИЕРАРХИЧЕСКИЙ МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИТНОГО ИНДЕКСА УГРОЗ</i>	430
81.	<i>Фролова Н.С. ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К БЕЗОПАСНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ</i>	434
	<i>Цимбал Д.В. РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДБОРА И КОМБИНИРОВАНИЯ ПРЕДМЕТОВ ГАРДЕРОБА НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВОГО ПОДХОДА</i>	438
83.	<i>Цыкунов А.С. ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ БАНКОВСКИМИ ПРОЦЕССАМИ</i>	441
84.	<i>Чернова Е.А. ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СОРТИРОВКИ ЧАЙНОГО ЛИСТА</i>	444
85.	<i>Чернышев М.К. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ В МИКРОСЕРВИСНЫХ АРХИТЕКТУРАХ И РОЛЬ ОРКЕСТРАТОРА В ЕЕ РЕШЕНИИ</i>	447
86.	<i>Чернышова Д.Ю. ОБЗОР МЕТАЭВРИСТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ НАСТРОЙКИ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ</i>	452

88.	<i>Шаркади А.А. МЕТОДЫ СОЕДИНЕНИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ С БАЗАМИ ДАННЫХ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ PDO, MYSQL И ENTITY FRAMEWORK</i>	457
89.	<i>Шеховцов В.В., Куликов И.А. ДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАДАЧ ИНФЕРЕНСА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ: МЕТРИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД</i>	460
90.	<i>Шеховцов В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЕКТОРИЗАЦИИ ТЕКСТОВ ДЛЯ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОНАЛЬНОСТИ РУССКОЯЗЫЧНЫХ ОТЗЫВОВ</i>	463
91.	<i>Шеховцов В.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ</i>	467
92.	<i>Шубенков А.Ю. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕДОСТАТОЧНОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ НА КАЧЕСТВО ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ В СИСТЕМАХ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ</i>	471
93.	<i>Шубенков А.Ю. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОДНОШАГОВЫХ И ТРАНСФОРМЕРНЫХ ДЕТЕКТОРОВ ОБЪЕКТОВ: YOLO11 И RT-DETRV2</i>	475

Научное издание

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОНОМИКА

(электротехника, теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в
производстве)

Сб. трудов XXIII Межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов

Сборник трудов в 3-х томах

Том 1

Подписано в печать 13.04.2026 г.

Формат 60x84^{1/16} . Тираж 100 экз. Печ. л. 30,4.

Издательство «Универсум»

Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске

214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-567-4

