

REDS:

Телекоммуникационные устройства и системы

№2

2026

СОДЕРЖАНИЕ

<p>Агамиров В.Л., Дыбалева А.П., Тутова Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ БПЛА</p>	4
<p>Первакова М.В., Антонова В.М., Маликова Е.Е., Зуйков К.Л. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ IMS НА СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ</p>	11
<p>Бобриков М.И., Воронова Л.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА</p>	18
<p>Степанова А.А., Гусакова А.А., Толасова А.А., Власюк И.В. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ОЦЕНОК (QOE) В СТРИМИНГОВЫХ СЕРВИСАХ</p>	24
<p>Ильин Н.С., Гадасин Д.В., Тришина С.В., Горохов К.И. ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ</p>	30
<p>Ковтун И.И., Сесицкий И.Д., Титов Д.С. ФУНКЦИОНАЛЬНО-РЕЛЯЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДАЖАМИ АВИАБИЛЕТОВ ПАО «УРАЛЬСКИЕ АВИАЛИНИИ»</p>	37
<p>Фатхулин Т.Д., Кот И.А., Рулев Д.В. АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И API</p>	46

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ АНАЛИЗА УСТОЙЧИВОСТИ БИЗНЕС-МОДЕЛЕЙ СЕРВИСОВ НА ОСНОВЕ БПЛА

Агамиров Владимир Леонович

МТУСИ, МАИ (НИУ) доцент, к.т.н., Москва, Россия
avhere@yandex.ru

Дыбалева Александра Петровна

МАИ (НИУ), студент/ассистент, Москва, Россия
gaeva.sashulya@mail.ru

Тугова Наталья Владимировна

МТУСИ, зав. кафедрой, к.т.н., Москва, Россия
n.v.tutova@mtuci.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение сетей Петри для формального моделирования бизнес-процесса оказания услуг с использованием беспилотных летательных аппаратов. Процесс эксплуатации беспилотных летательных аппаратов представлен в виде дискретно-событийной модели, учитывающей последовательность операций, ресурсные ограничения и отклонения. Показано, что сети Петри позволяют анализировать достижимость целевого состояния и выявлять логические причины срыва соглашений об уровне сервиса.

Ключевые слова

сети Петри, БПЛА, дискретно-событийные системы, отказоустойчивость, бизнес-процессы.

Введение

Развитие беспилотных летательных аппаратов привело к их широкому применению в виде сервисных решений, ориентированных на выполнение задач в заданные сроки и с определенным уровнем качества. В таких моделях БПЛА рассматривается не как отдельное техническое средство, а как элемент бизнес-процесса, результат которого фиксируется в соглашениях об уровне сервиса. Эксплуатация БПЛА сопровождается воздействием внешних условий, регуляторных ограничений, технических отказов и человеческого фактора, что приводит к отклонениям от планового хода выполнения работ. Традиционные методы анализа рисков, основанные на экспертных оценках, не позволяют формально описывать динамику процесса. В этой связи актуальным является применение формальных методов моделирования, способных описывать дискретные события и ресурсные ограничения. Одним из таких методов являются сети Петри, позволяющие представить бизнес-процесс в виде строгой модели для инженерного анализа и оценки рисков [1, 2].

Декомпозиция бизнес-процесса и границы модели

Рассматриваемый бизнес-процесс представляет собой сервисную модель оказания услуг с применением беспилотных летательных аппаратов, в которой результат определяется передачей заказчику обработанных данных в заданные сроки и с требуемым уровнем качества. Для формального описания процесс декомпозируется на конечное множество элементарных операций, каждая из которых соответствует устойчивому состоянию выполнения заказа или завершенному действию.

В ходе декомпозиции выделяются основные этапы: прием заявки, планирование миссии, проверка условий выполнения, предполетная подготовка, выполнение полета, обработка данных и передача результата. Каждый этап трактуется как логически завершенный фрагмент процесса, переход между этапами возможен только при выполнении условий завершения предыдущего. Это позволяет рассматривать процесс как дискретно-событийную систему.

Формально бизнес-процесс представляется в виде сети Петри:

$$PN = (P, T, F, M_0),$$

где P – множество позиций, соответствующих состояниям выполнения заказа,

T – множество переходов, описывающих операции и события,

$F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$ – множество дуг,

M_0 – начальная разметка [2].

Позиции интерпретируются как состояния бизнес-процесса, а наличие маркера означает наличие заказа в соответствующем состоянии. Переходы моделируют завершение операций и дискретные события, изменяющие состояние процесса. Для учета ограничений по человеческим и техническим ресурсам вводятся ресурсные позиции с ограниченным числом маркеров. Переходы, связанные с подготовкой и выполнением миссии, требуют наличия маркеров как в позициях заказа, так и в ресурсных позициях, что формализует конкуренцию за ресурсы и исключает некорректный параллелизм.

Рассматриваемый процесс оказания услуги (см. рис. 1) с использованием беспилотного летательного аппарата представляет собой последовательность взаимосвязанных этапов, направленных на получение и передачу заказчику требуемого результата в рамках заданных ограничений по срокам и качеству. Процесс начинается с этапа приёма заявки, на котором фиксируются параметры задания, требования заказчика и целевые показатели выполнения [3].

На этапе планирования миссии осуществляется формирование маршрута полёта, выбор параметров полезной нагрузки, определение временных окон выполнения и предварительная оценка возможности реализации задания. Далее выполняется проверка условий выполнения, включающая анализ метеорологических факторов, доступности воздушного пространства, наличия геозон и необходимых разрешений. Данный этап является критическим с точки зрения допустимости перехода к последующим операциям.

После подтверждения условий выполняется предполетная подготовка, включающая технический осмотр БПЛА, проверку аккумуляторов, калибровку бортовых систем и выполнение регламентных операций. Завершение подготовки позволяет перейти к этапу выполнения миссии, в рамках которого осуществляется полет и сбор целевых данных.

Полученные в ходе полета данные поступают на этап обработки, где выполняются операции фильтрации, структурирования и приведения данных к требуемому формату. Заключительным этапом процесса является передача обработанного результата заказчику и формальное закрытие сервисных обязательств.

Границы модели определяются моментом принятия заказа в работу и моментом передачи результата. Внешние информационные воздействия, такие как нормативные требования, эксплуатационные регламенты и индивидуальные условия заказчика, не моделируются как отдельные процессы, а учитываются в виде условий разрешимости переходов между этапами, определяющих допустимость и последовательность выполнения операций.



Рис. 1. Процесс оказания услуги с помощью БПЛА

Построение базовой модели и проверка свойств

На основе декомпозированного бизнес-процесса и заданных границ формируется базовая модель в виде классической сети Петри, описывающей нормативный сценарий эксплуатации БПЛА без учёта отказов и внешних возмущений. Целью построения базовой модели является проверка логической корректности структуры процесса до его расширения риск-сценариями.

Множество позиций сети соответствует устойчивым состояниям выполнения заказа, а множество переходов – завершению отдельных операций. Начальная разметка модели задается размещением одного маркера в позиции «Заказ принят», что отражает поступление одного экземпляра заказа в систему.

В ходе функционирования модели маркер последовательно перемещается между позициями в соответствии с логикой бизнес-процесса.

Для учета ограничений по человеческим ресурсам в модель вводится ресурсная позиция «Оператор доступен», содержащая ограниченное число маркеров. Переходы, связанные с предполетной подготовкой и запуском миссии, разрешены только при наличии маркеров как в позициях состояния заказа, так и в ресурсной позиции. После срабатывания переходов маркер ресурса возвращается в исходную позицию, что обеспечивает сохранение ресурсного инварианта [3, 4].

Проверка свойств базовой модели проводится методами анализа сетей Петри. Достижимость целевого состояния подтверждается существованием допустимой последовательности срабатываний переходов, переводящей систему из начальной разметки в разметку завершения заказа. Ограниченность модели обеспечивается тем, что число маркеров в каждой позиции ограничено сверху и не превышает единицы при обработке одного заказа. Живость модели подтверждается отсутствием мёртвых переходов и тупиковых состояний при корректных входных условиях [5].

Таким образом, базовая сеть Петри является корректной и завершённой формальной моделью нормативного бизнес-процесса эксплуатации БПЛА и может использоваться как эталон для дальнейшего анализа и расширения.

Последовательность схемы базовой сети Петри

Позиции (состояния):

- P0 – Заказ принят.
- P1 – Миссия спланирована.
- P2 – Условия проверены.
- P3 – БПЛА готов.
- P4 – Полёт выполняется.
- P5 – Данные получены.
- P6 – Результат передан.
- R0 – Оператор (ресурс).

Переходы (операции):

- T0 – Планирование.
- T1 – Проверка условий.
- T2 – Подготовка.
- T3 – Старт миссии.
- T4 – Завершение полёта.
- T5 – Передача результата.
- TR0 – Оператор подтвердил доступ.

На рисунке 2 показана базовая сеть Петри, отражающая нормативный сценарий выполнения заказа при корректных внешних условиях, исправном техническом состоянии БПЛА и отсутствии организационных ошибок.

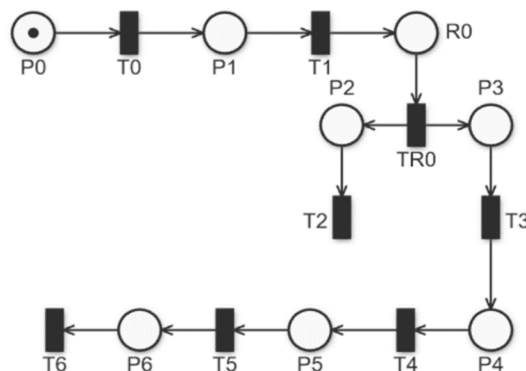


Рис. 2. Схема базовой сети Петри

Расширение базовой модели: введение отказов и сценариев восстановления

После верификации базовой сети Петри, описывающей нормативный сценарий выполнения бизнес-процесса эксплуатации беспилотного летательного аппарата, осуществляется её структурное расширение с целью формального учета отказных ситуаций и альтернативных траекторий развития процесса. Такое расширение позволяет перейти от детерминированного описания регламентированного процесса к модели, отражающей реальные условия функционирования технической системы.

Расширенная модель строится по принципу встраивания отказных подсетей в заранее определенные позиции базовой сети. При этом сохраняются все исходные позиции, переходы и дуги базовой модели, а добавляемые элементы формируют дополнительные ветви, активируемые при наступлении неблагоприятных событий. Такой подход обеспечивает структурную согласованность моделей и позволяет рассматривать базовую сеть как частный случай расширенной при отсутствии срабатывания отказных переходов.

Ключевыми точками встраивания расширений являются позиции, соответствующие проверке условий выполнения миссии, готовности БПЛА и выполнению полёта. Именно в этих состояниях процесс наиболее чувствителен к внешним воздействиям, ошибкам оператора и техническим отказам. В расширенной сети формально различаются восстанавливаемые и невосстанавливаемые сценарии. Первые приводят к возврату процесса в допустимые состояния базовой модели после выполнения корректирующих действий, вторые — к переходу в поглощающее состояние отмены заказа.

С точки зрения теории сетей Петри введение отказных подсетей не нарушает ограниченность и структурную корректность базовой модели, а лишь расширяет множество достижимых разметок. Это создаёт основу для последующего анализа достижимости целевого состояния, оценки устойчивости процесса и интерпретации влияния отказов на выполнение сервисных обязательств.

Список состояний расширенной сети Петри

1. Базовые состояния бизнес-процесса:

P2 – Условия проверены. Состояние соответствует

завершенной проверке метеоусловий, геозон и регуляторных ограничений.

P3 – БПЛА готов. Состояние, в котором БПЛА и персонал готовы к выполнению миссии.

P4 – Полет выполняется. Состояние активного выполнения миссии и сбора данных.

2. Отказные состояния:

PFw – Неблагоприятные и опасные погодные условия. Фиксация временной невозможности выполнения миссии по погодным причинам.

Pfreg – Регуляторный запрет (NO-FLY). Состояние, соответствующее невозможности выполнения миссии по регуляторным ограничениям.

Pfor – Ошибка оператора. Состояние, возникающее при выявлении организационной или человеческой ошибки.

PF1 – Потеря канала связи. Фиксация отсутствия радиоканала управления или передачи данных.

PF2 – Разряд аккумуляторной батареи. Состояние критического снижения заряда АКБ.

PF3 – Отказ датчика или отсутствие полезной нагрузки. Фиксация отказа оборудования, исключающего дальнейшее выполнение миссии.

3. Восстановительные и терминальные состояния:

PR – Восстановление состояния работоспособности. Агрегированное состояние выполнения ремонтных действий.

PC – Отмена заказа. Поглощающее состояние, соответствующее завершению процесса без выполнения SLA.

Список переходов сети Петри:

1. Переходы, связанные с внешними условиями:

Tw – Ожидание подходящего временного окна.

Tn – Возврат.

Tban – Фиксация регуляторного запрета.

2. Переходы, связанные с человеческим фактором:

Top – Выявление ошибки оператора.

Tredo – Повторная предполетная подготовка.

3. Переходы технических отказов:

TF1 – Событие: потеря связи.

TF2 – Событие: разряд АКБ.

TF3 – Событие: отказ датчика.

4. Переходы восстановления и завершения:

TR – Возврат БПЛА (RTH).

ТС – Отмена заказа (нарушение SLA).

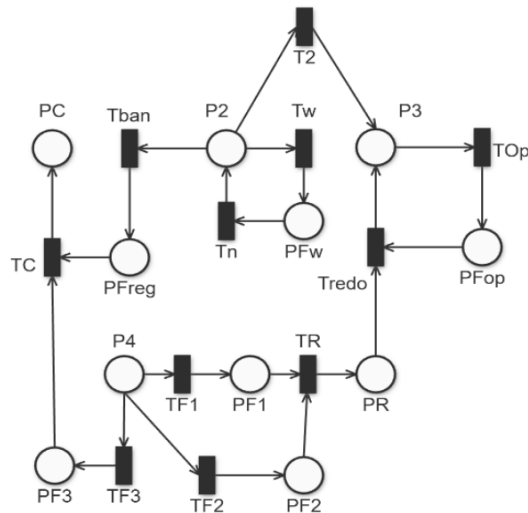


Рис. 3. Схема расширенной сети Петри

Анализ достижимости и структурных свойств расширенной модели

Анализ свойств расширенной сети Петри проводится для модели эксплуатации БПЛА, в которой базовый бизнес-процесс дополнен отказными и восстановительными сценариями. Исходной считается разметка, при которой один маркер расположен в позиции, соответствующей принятому и проверенному заказу, а все ресурсные позиции находятся в допустимом состоянии.

Анализ достижимости целевых состояний

В разработанной модели существуют два принципиально различных класса целевых разметок. Первый класс соответствует достижению состояния успешного завершения заказа, при котором маркер последовательно проходит через позиции $P2 \rightarrow P3 \rightarrow P4$ и далее достигает финального состояния передачи результата. Достижимость данного состояния обеспечивается при отсутствии срабатывания отказных переходов $Tw, Tban, Top, TF1-TF3$ и подтверждает корректность нормативного сценария эксплуатации БПЛА.

Второй класс целевых разметок связан с достижением поглощающего состояния PC , соответствующего отмене заказа и нарушению SLA. В рамках модели показано, что достижение PC возможно исключительно через переход TC , который активируется в двух строго определённых случаях: при срабатывании регуляторного запрета ($P2 \rightarrow Tban \rightarrow PFreg \rightarrow TC \rightarrow PC$) и при наступлении невосстанавливаемого технического отказа полезной нагрузки ($P4 \rightarrow TF3 \rightarrow PF3 \rightarrow TC \rightarrow PC$). Это означает, что не любой отказ приводит к отмене заказа, а только те, которые формально определены как критические.

Анализ восстанавливаемых сценариев

Для отказов, классифицированных как восстанавливаемые, в модели явно заданы циклы возврата в допустимые состояния базового процесса. Так, неблагоприятные погодные условия формализуются циклом $P2 \rightarrow Tw \rightarrow PFW \rightarrow P2$, который отражает ожидание подходящего временного окна без разрушения структуры процесса.

Ошибки оператора моделируются переходом $P3 \rightarrow \text{Top} \rightarrow \text{PFor} \rightarrow \text{Tredo} \rightarrow P3$, что соответствует повторной предполётной подготовке без необходимости повторного планирования миссии. Аналогично, технические отказы в полёте, такие как потеря связи или разряд аккумуляторной батареи, приводят к возврату БПЛА и повторному входу в состояние готовности через последовательность $P4 \rightarrow \text{TF1/TF2} \rightarrow \text{PF1/PF2} \rightarrow \text{TR} \rightarrow \text{PR} \rightarrow \text{Tredo} \rightarrow P3$.

Наличие этих циклов свидетельствует о том, что процесс обладает встроенными механизмами устойчивости и допускает восстановление без отмены заказа при ряде типовых инцидентов.

Анализ поглощающих состояний и устойчивости процесса

Позиция PC в разработанной сети является единственным поглощающим состоянием. После размещения маркера в данной позиции дальнейшее развитие процесса невозможно, что формально соответствует завершению заказа без выполнения сервисных обязательств. Отсутствие других поглощающих состояний указывает на то, что модель не содержит скрытых логических тупиков и все отказные сценарии либо приводят к восстановлению, либо явно завершают процесс.

Анализ ограниченности показывает, что при моделировании одного заказа каждая позиция сети является 1-ограниченной. Циклы восстановления не приводят к накоплению маркеров, поскольку возврат осуществляется в уже существующие позиции базовой модели. Это подтверждает корректность структуры сети и возможность её использования для анализа последовательных заказов.

Интерпретация модели для управления SLA и снижением операционных рисков

В разработанной модели сети Петри выполнение соглашения об уровне сервиса (SLA) формализуется как достижение целевого состояния передачи результата заказчику в пределах заданных временных и эксплуатационных ограничений. С точки зрения модели нарушение SLA соответствует достижению поглощающего состояния PC, при котором процесс завершается без передачи результата.

В общем виде выполнение SLA может быть описано через индикаторную функцию: $S = \{0,1\}$, $S = 1$, если достигнуто целевое состояние завершения заказа; $S = 0$, если достигнуто поглощающее состояние PC.

Тогда вероятность выполнения SLA для одного заказа может быть представлена как $P_{SLA} = 1 - P(PC)$, где $P(PC)$ – вероятность достижения поглощающего состояния отмены заказа в процессе функционирования сети Петри.

В рамках разработанной модели достижение состояния PC возможно только через строго определенные отказные сценарии, формализованные в структуре сети. Таким образом, вероятность нарушения SLA может быть представлена в виде суммы вероятностей критических сценариев: $P(PC) = P_{REG} + P_{CRIT}$, где P_{reg} – вероятность отмены заказа вследствие регуляторных ограничений (траектория $P2 \rightarrow \text{Tban} \rightarrow \text{PFreg} \rightarrow \text{TC} \rightarrow \text{PC}$), P_{CRIT} – вероятность невозможности восстановления технического отказа полезной нагрузки (траектория $P4 \rightarrow \text{TF3} \rightarrow \text{PF3} \rightarrow \text{TC} \rightarrow \text{PC}$)

Соответственно, уровень выполнения SLA может быть записан в виде $P_{SLA} = 1 - (P_{REG} + P_{CRIT})$.

Для восстанавливаемых отказов, таких как неблагоприятные погодные условия, ошибки оператора или потеря связи, модель не приводит к достижению состояния PC, однако увеличивает фактическое время выполнения заказа. Это позволяет ввести дополнительный показатель временного SLA: $T_{fact} = T_{base} + \sum_{i=1}^N \Delta T_i$, где T_{base} – время нормативного выполнения заказа без отказов, ΔT_i – дополнительные временные затраты, связанные с i -м восстановительным циклом, N – число восстановительных циклов.

Требование временного SLA формально записывается как $T_{fact} \leq T_{SLA}$, где T_{SLA} – предельное допустимое время выполнения услуги.

Таким образом, разработанная модель сети Петри позволяет разделить риски нарушения SLA на два класса: структурные риски, приводящие к отмене заказа и формально описываемые вероятностью достижения состояния PC; временные риски, связанные с увеличением длительности процесса вследствие восстановительных циклов.

Это дает возможность использовать модель для количественного обоснования управленческих решений, направленных как на снижение вероятности критических отказов, так и на оптимизацию процессов восстановления с целью соблюдения временных требований SLA.

Заключение

В работе разработана формальная модель бизнес-процесса эксплуатации беспилотных летательных аппаратов на основе сетей Петри, позволяющая описывать как нормативный сценарий оказания услуги, так и отклонения, связанные с отказами и восстановительными действиями. Показано, что расширение базовой модели за счёт отказных подсетей сохраняет её структурную корректность и обеспечивает формальное различие восстанавливаемых и критических сценариев. На основе модели предложена интерпретация выполнения SLA, в которой нарушение обязательств связано с достижением поглощающего состояния, а временные риски – с наличием циклов восстановления. Полученные результаты позволяют использовать сеть Петри как инструмент анализа устойчивости бизнес-процессов эксплуатации БПЛА и обоснования управленческих решений, направленных на снижение операционных рисков и повышение надежности сервисных услуг.

Литература

1. *Fedorova A., Beliautsou V., Zimmermann A.* Colored Petri net modelling and evaluation of drone inspection methods for distribution networks // *Sensors*. 2022. Т. 22. № 9. С. 3418.
2. *Zurawski R., Zhou M. C.* Petri nets and industrial applications: A tutorial // *IEEE Transactions on industrial electronics*. 1994. Т. 41. № 6. С. 567-583.
3. *Prasad R., Davidson R.* The Complete Guide to IT Service Level Agreements. 2nd ed. Waltham, MA: Morgan Kaufmann, 2014.
4. *Петросов Д.А., Коротеев М.В., Андриянов Н.А.* и др. Интеллектуальный структурно-параметрический синтез имитационных моделей и бизнес-процессов : монография; под ред. Д. А. Петросова. М.: Русайнс, 2024. 98 с.
5. *Агамиров В.Л., Агамиров Л.В., Вестяк К.В., Гаева А.П.* Разработка структурно-параметрической модели автоматической коробки передач с использованием имитационного моделирования и сетей Петри // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы XXXI Международного симпозиума имени А.Г. Горшкова, Кремёнки, 19-23 мая 2025 года.* М.: ООО "ТРИП", 2025. С. 7-8.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДСИСТЕМЫ IMS НА СОВРЕМЕННЫХ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЯХ

Первакова Мария Владимировна

МТУСИ, студент, Москва, Россия,
pervakova00.00@mail.ru

Антонова Вероника Михайловна

МТУСИ, доцент каф. СС и СК, к.т.н., Москва, Россия,
v.m.antonova@mtuci.ru

Маликова Елена Егоровна

МТУСИ, доцент каф. СС и СК, к.т.н., Москва, Россия,
e.e.malikova@mtuci.ru

Зуйков Константин Леонидович

АО «Искра Технологии», инженер учебного центра департамента технологий связи, Москва, Россия
zujkov@iskratechno.ru

Аннотация

В статье рассматривается применение мультимедийной подсистемы IMS (IP Multimedia Subsystem) на современных мультисервисных сетях связи. IMS представляет собой программно-аппаратный комплекс и является ключевым компонентом почти всех IP-сетей следующего поколения. В настоящее время стоит проблема импортозамещения на телекоммуникационных сетях Российской Федерации. В статье рассмотрены варианты применения оборудования российской компании «Искра Технологии», в частности оборудования SI3000 vIMS, на сетях операторов связи.

Ключевые слова:

IMS, NGN, мультисервисные сети, протокол SIP, платформа SI3000, консорциум 3GPP, SI3000, vIMS.

Введение

В настоящее время уже невозможно представить жизнь без современных технологий. В статье рассматривается технология IMS, которая была предложена консорциумом 3GPP. Она определяет сетевую архитектуру, которая опирается на пакетную транспортную сеть и обеспечивает поддержку различных вариантов доступа. Именно в этом контексте подсистема IMS превращается из узкоспециализированной технологии в универсальный и стратегически важный элемент современных мультисервисных сетей. IMS предлагает стандартизованную, основанную на IP-протоколах, архитектуру для управления сеансами связи, аутентификации и интеграции различных услуг поверх любой транспортной сети, включая мобильные сети 4G и 5G.

Переход на технологию IMS приводит к возникновению дополнительных задач, включая способности операторов поддерживать требуемые уровни качества обслуживания и надежности доставки предоставляемых услуг. Задаче оценки параметров качества обслуживания посвящено множество рекомендаций МСЭ-Т, IETF, 3GPP и множества других стандартизирующих организаций.

История и эволюция IMS

Исторически сложилось так, что к моменту появления сетей с пакетной коммутацией услуги голосовой связи предоставляли через сеть с коммутацией каналов (CSN - Circuit Switching Networks). Сети с коммутацией пакетов снимают многие ограничения, свойственные сетям с коммутацией каналов и открывают новые возможности.

У телеком-операторов были надежные и безопасные сети с коммутацией каналов, но развитие этих сетей шло крайне медленно, в то время как интернет-компании, стали активно развиваться и предлагать те же услуги связи на основе протокола IP. Это стало угрозой для телекоммуникационных компаний, их услуги могли быстро стать невостребованными, а дорогостоящее оборудование их сетей — полностью ненужным. В это время остро встал вопрос, как телеком-операторам перенести ключевые

услуги (голос, видео, сообщение) на базу IP, сохранив при этом управление, биллинг, качество обслуживания (QoS – Quality of Service) и безопасность.

Решением этого вопроса стала разработка консорциумом 3GPP в 2002 году концепции IMS (IP Multimedia Subsystem). IMS – это архитектурная концепция для предоставления мультимедийных услуг через IP-сети [1]. Основные причины внедрения IMS:

- Тенденция к объединению операторов связи и расширению пакетных предложений (конвергентных услуг).
- Вытеснение традиционных услуг операторов интернет-приложениями.
- Сокращение расходов операторов.
- Внедрение и распространение высокоскоростной мобильной связи LTE.

В 2003 году организация по стандартизации *ETSI* создала комитет *TISPAN* для стандартизации сетей *NGN*, в том числе, для включения в состав *IMS* дополнительных функций с целью управления соединениями в фиксированных сетях связи.

Архитектура IMS

IMS разрабатывалась с целью унификации услуг связи на основе протокола SIP-платформы (Session Initiation Protocol), обеспечивая мультимедийную конвергенцию (голоса, видео и данных) в фиксированных и мобильных сетях и доступ с любых терминалов при обеспечении высокого качества QoS.

Структура IMS организована как совокупность логических функций, выполненных по горизонтальной многоуровневой модели в отличие от традиционной сети связи, которая имеет вертикальную модель. Она делится на три основных уровня [2]:

1. Пользовательский уровень или уровень передачи данных.

Данный уровень отвечает за установление и управление сеансами связи с использованием протокола SIP (Session Initiation Protocol), этот протокол управляет всем жизненным циклом мультимедийного сеанса: его созданием, модификацией и завершением. Он обеспечивает взаимодействие между абонентами в IP-сети, являясь основой для таких услуг, как IP-телефония (VoIP). Ключевыми элементами на этом уровне являются медиашлюзы, которые выполняют преобразование VoIP-трафика в формат, понятный традиционным телефонным сетям (CSN), и обратно.

2. Уровень управления (Control Plane)

На втором уровне располагается функция управления вызовами и сеансами CSCF (Call Session Control Function), которая состоит из трех функциональных блоков: P-CSCF (Proxy CSCF), I-CSCF (Interrogating CSCF), S-CSCF (Serving CSCF).

1. Функции P-CSCF

- работает в качестве точки входа в сеть IMS;
- передает регистрационные сообщения в направлении I-CSCF в зависимости от домена пользователя с целью дальнейшей маршрутизации сообщений SIP;
- передает сообщения SIP от пользователя к соответствующему S-CSCF и обратно;
- определяет требования к экстренному вызову и передает сообщения к соответствующему E-CSCF и обратно;
- может обеспечивать безопасный доступ пользователя в сеть IMS при помощи протокола IPsec.

2. Функции I-CSCF

- обеспечивает динамическое назначение соответствующего S-CSCF и маршрутизацию SIP сообщений в сети IMS.
- в сетях с несколькими HSS получает информацию, на каком HSS хранится профиль пользователя;
- при регистрации нового абонента назначает ему сервер обслуживания S-CSCF;
- получает от HSS информацию о S-CSCF конкретного пользователя;
- маршрутизирует сообщения SIP в рамках сети IMS;
- генерирует необходимую для тарификации информацию.

1. Функции S-CSCF

- обеспечивает установление, управление и разрыв сеансов для всех пользователей, которые к нему относятся
- играет важную роль при аутентификации как пользователей, так и серверов приложений, при регистрации пользователя в различных сервисах.

– обеспечивает установление сеансов связи, взаимодействие между отдельными функциями и элементами сети IMS, включение и поддержку услуг, а также их завершение, включая генерацию записей о тарификации услуг.

– может конвертировать адреса E.164 в SIP URI при помощи сервера ENUM.

Сервер HSS — это эволюция традиционного HLR. Он хранит полный цифровой профиль абонента: данные всех его устройств (SIP-телефон, смартфон), настройки и, что критично, обеспечивает роуминг услуг. Где бы ни был пользователь, он получает доступ к своему пакету сервисов (видеозвонки, переадресация). Любой элемент сети перед началом сеанса сверяется с HSS для авторизации и определения правил обслуживания. На этом уровне также находится контроллер MGCF, он отвечает за совместимость IMS с традиционными телефонными сетями и управляет пулом медиашлюзов (MGW). И наконец MRF – центральный элемент обработки медиаданных в домашней сети, он не просто передаёт данные, а трансформирует их: конвертирует между кодеками, генерирует голосовые сообщения, выполняет анализ (распознавание тонов, контроль качества). Благодаря MRF сеть может адаптировать контент под возможности любого устройства.

Вместе HSS, MGCF и MRF образуют интеллектуальное ядро IMS. HSS идентифицирует абонента и его права, MGCF обеспечивает связь, а MRF обогащает и адаптирует сам медиаконтент. Эта триада позволяет операторам предлагать не просто связь, а персонализированные, гибкие и бесшовные мультимедийные услуги.

3. Уровень приложения.

На третьем уровне архитектуры IMS находятся серверы приложений, отвечающие за предоставление услуг конечным пользователям.

Ключевые архитектурные принципы IMS:

3. Многоуровневость – разделена на уровни транспорта, управления и приложений.

4. Поддержка двухстороннего мультимедийного общения в режиме реального времени (включая голосовые вызовы и видеосвязь).

5. Интеграция сервисов с низкой задержкой и тех, где временные колебания допустимы (например, стриминг и мессенджеры).

6. Одновременная работа нескольких сервисов в рамках единого сеанса или запуск нескольких согласованных сессий параллельно.

Главной особенностью архитектуры IMS является возможность предоставлять мультимедийные услуги на базе протокола IP, следовательно управлять соединениями и работать с различными сетями доступа.

Построение мультисервисных сетей связи на базе IMS

Сети следующего поколения (NGN) представляют собой концепцию мультисервисной сети, предоставляющую пользователям услуги по передаче голоса, видеоинформации и данных, а также разнообразные дополнительные услуги на основе сети с коммутацией пакетов, при этом интеграция существующих служб ведется путем использования распределенной программной коммутации (soft-switches).

Рассмотрим ключевые преимущества сетей NGN на базе платформы IMS [3]:

– Конвергенция услуг, которая подразумевает единую платформу для голоса, видео, сообщений (RCS – Rich Communication Services), что способствует снижению капитальных (CAPEX) и операционных (OPEX) затрат за счет одной инфраструктуры вместо нескольких изолированных сетей.

– Скорость вывода услуг на рынок, т.е. новые услуги разворачиваются как приложения (AS) на общей платформе, что приводит к быстрой монетизации и конкурентному преимуществу.

– Качество обслуживания обеспечивается функцией управления правилами политик и тарификации (PCRF – Policy and Charging Rules Function), при этом резервируются ресурсы сети для чувствительных к задержкам услуг (например, голос и видео).

– Персонализация подразумевает единый профиль в HSS для всех услуг на всех устройствах.

– Открытость и стандартизация, так как стандарты 3GPP обеспечивают совместимость оборудования различных вендоров и межоператорское взаимодействие, снижается зависимость от одного поставщика, а значит появляется здоровая конкуренция.

– Мобильность и доступность, так как доставка услуг потребителю возможна через любой доступ (LTE, Wi-Fi, 5G, 6 G).

NGN на базе IMS – это не просто "новая сеть", а фундаментальный переход от сетей, ориентированных на конкретную услугу, к гибкой, программно-определяемой платформе.

Услуги, предоставляемые платформой IMS

Рассмотрим подробнее услуги предоставляемые платформой IMS.

1. Голосовые услуги

Базовой услугой подсистемы IMS является передача голоса посредством сети с коммутацией пакетов (All-IP). Сейчас успешно внедряются голосовые решения на базе IMS в фиксированной и мобильной связи, где IMS преимущественно применяется в сетях LTE. Решением для мобильных сетей является VoLTE: высококачественная голосовая связь в сетях 4G с одновременной передачей данных. При этом используется адаптивный кодек – AMR-WB (G.722.2).

2. Видео-услуги

Одна из важнейших видеослуг – это IPTV. Сервер приложений IPTV способен выступать единым узлом взаимодействия для поиска и подбора медиаресурсов, что делает его ключевым компонентом в процессе выбора и запуска мультимедийных услуг, доступных авторизованным пользователям системы IMS.

IPTV на базе IMS также может обеспечить дополнительные преимущества, такие как: поддержка мобильности, возможность взаимодействия с существующими сервисными модулями NGN, персонализация услуг, адаптация медиаконтента. А также предоставление конвергентных приложений, объединяющих голосовые, данные, видео- и мобильные услуги в рамках гибкой концепции "четверного пакета" или, иначе, "мультисервисного пакета"(quadruple play, multi-play services).

3. Услуги в сетях 5G

Внедрение сетей 5G предполагает глубокую эволюционную интеграцию, где подсистема IMS обеспечивает преимущество сервисов и надежность [4]. В архитектуре 5G Standalone IMS становится неотъемлемой частью системы 5G. Она выполняет функции предоставления базовых услуг голосовой и видеосвязи. Технология VoNR (Voice over New Radio) – это прямое продолжение технологии VoLTE, но реализуемое уже поверх нового 5G-ядра.

Также взаимодействие сетей 5G и сервисов IMS позволят эволюционировать в новые форматы, такие как:

7. Тактильный интернет и голография, что подразумевает видеозвонки, где создается ощущение физического присутствия собеседника.

8. Коммуникации в дополненной или виртуальной реальности (AR/VR) подразумевает совместный просмотр контента, удаленные консультации с наложением цифровой информации в реальном времени.

9. Удалённое управление сложными процессами с обратной связью в реальном времени, например, в области телемедицины.

Виртуализация сетевых ресурсов в телекоммуникационных сетях

Концепция NFV (Network Function Virtualization – виртуализация сетевых функций) кардинально меняет принципы построения современных телекоммуникационных сетей [5].

В связи с усложнением сетевых функций и тенденций преобразования аппаратных комплексов в программные решения возникла потребность в создании универсальных систем управления инфраструктурой. Такие системы должны централизованно контролировать: процессорные мощности, сетевые каналы и системы хранения информации. Таким инструментом цифрового управления является отечественная разработка «Интеллектуальная облачная платформа SP5000 ICP» от компании АО «Искра Технологии».

Данный программный комплекс предназначен для развертывания полноценной облачной среды, соответствующей международным стандартам ETSI NFV, и изначально создавался для решения собственных телекоммуникационных решений. Ключевые компоненты платформы – NFVI (виртуализированная инфраструктура сетевых функций) и NFVO (оркестратор NFV) – дают возможность быстро и гибко запускать и обслуживать сервисы связи на стандартном серверном оборудовании любого вендора. Размещение такой инфраструктуры может быть как локальным (на площадке заказчика), так и в распределенных центрах обработки данных.

Также ICP предназначена для постройки географически распределенных сетевых инфраструктур для операторов связи и корпоративных заказчиков. Платформа оснащена средствами для управления

вычислительными ресурсами, полного контроля жизненного цикла виртуальных сетевых функций (VNF) и контейнеров, а также инструментами оркестрации, что позволяет соблюдать строгие требования в области информационной безопасности. Иллюстрация типового сценария использования SP5000 ICP в телеком-секторе представлена на рисунке 1.

Кроме того, платформа предоставляет отказоустойчивую инфраструктуру операторского класса, поддерживает комплексную автоматизацию процессов управления: непрерывный мониторинг, оповещение об инцидентах, а также контроль работоспособности приложений и сервисов.

Построенная на базе OpenStack, платформа ICP способна одновременно обслуживать несколько независимых облачных сред под управлением единого сервера COS, который отвечает за техническую эксплуатацию и сопровождение всей инфраструктуры.

Архитектурная гибкость SP5000 ICP позволяет разворачивать решение в различных масштабах — от одного серверного узла до кластера из множества аппаратных модулей, с возможностью выбора из ряда предустановленных конфигураций.

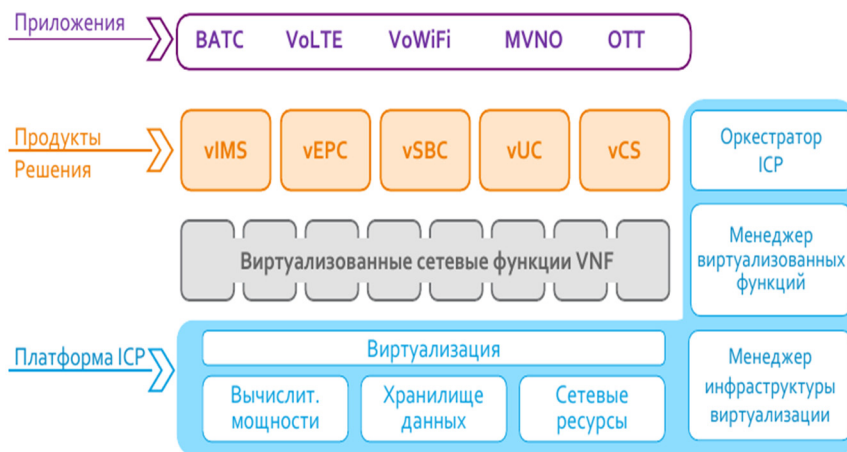


Рис. 1. Примеры использования SP5000 ICP для телекоммуникационных решений

При отсутствии потребности в резервировании на одном из узлов помимо развёрнутых виртуальных машин продукта ICP конфигурируется служба контроллера, а все остальные узлы выполняют только роль host-систем для компонентов продукта.

Если же в проекте требуется повышенная надёжность платформы, то используется схема "активный-резервный" с кворумом.

Виртуализированная IMS (SI3000 vIMS)

АО «Искра Технологии» предлагает развёртывание на базе инфраструктуры ICP другого продукта из своего портфеля – SI3000 Virtual IMS (vIMS) [6].

Это решение представляет собой программную платформу телекоммуникационной инфраструктуры на базе архитектуры IMS, построенную в соответствии с концепцией NFV и в соответствии с архитектурными принципами, определенными ETSI. Оно предназначено для операторов фиксированной, мобильной связи и виртуальных операторов (MVNO), а также крупных корпоративных и ведомственных сетей. В результате внедрения заказчиком такого продукта обеспечивается предоставление современных услуг, включая сервис унифицированных коммуникаций и голосовую связь в сетях LTE (VoLTE, в том числе – Private LTE). Компания также располагает продуктами для реализации этих сервисов.

В основе SI3000 vIMS лежит виртуализированная среда, в которой реализованы как ключевые компоненты ядра IMS (IMS Core), так и элементы для подключения разнородных сетей доступа (IMS Edge). Разработка платформы выполнена с соблюдением требований международных стандартов 3GPP и ETSI TISPAN.

Архитектура SI3000 vIMS является гибкой и масштабируемой. В соответствии с рекомендациями стандартизирующих органов, она поддерживает различные сценарии физического развертывания. Это может быть как компактный вариант с размещением всех функций на едином сетевом элементе, так и полностью распределенная архитектура, при которой функциональные модули территориально разнесены.

Платформа SI3000 vIMS включает (рис. 2) как стандартные компоненты (I-CSCF, S-CSCF, E-CSCF, AGCF, BGCF, MGCF, MRFC, TAS, IM-SSF, SCC-AS/R-IM-SSF, HSS), так и специфичные для продукта сервер управления MNS, портал поставщика услуг IMS, общий портал IMS, портал оркестратора NFV и платформу CSP (Cloud Services Platform), служащую базой инфраструктуры.

Платформа CSP поддерживает все основные модели предоставления облачных услуг: IaaS (инфраструктура как услуга), PaaS (платформа как услуга) и DaaS (данные как услуга), а также их комбинации.

Важной особенностью системы управления и оркестрации VNF в CSP является использование решений с открытым исходным кодом, что позволило внедрить поддержку стандартных API-интерфейсов ETSI NFV и, за счёт этого поддерживать VNF от сторонних производителей, гарантируя совместимость и гибкость всей экосистемы IMS.

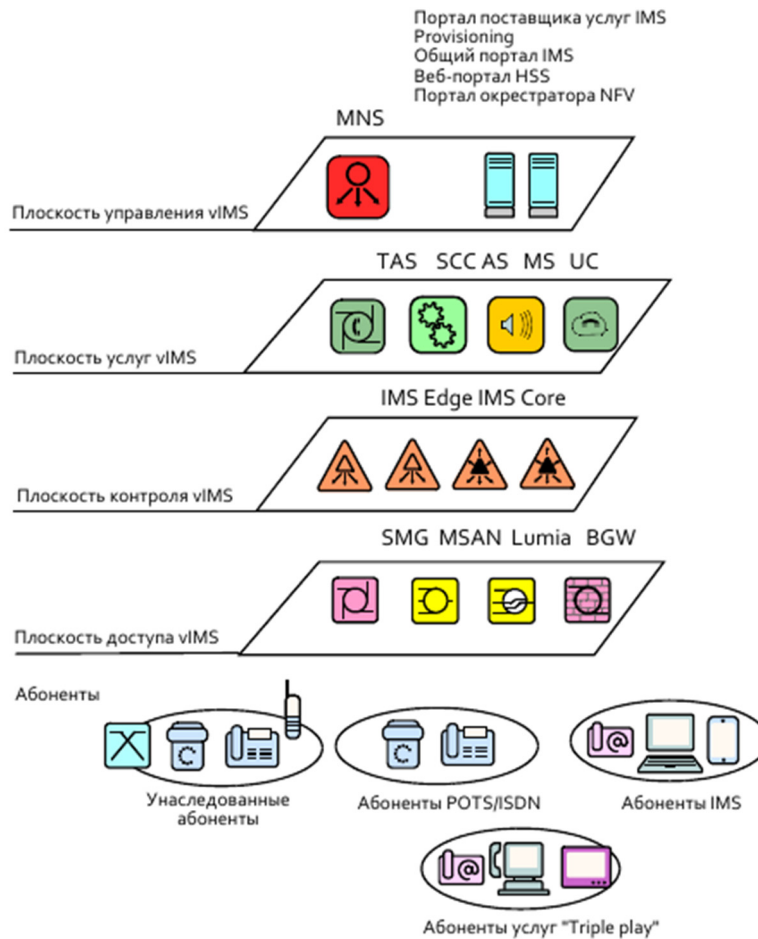


Рис. 2. Подсистема IMS vIMS "Искра Технологии"

Заключение

Архитектура IMS принята и активно внедряется операторами сети связи общего пользования, позволяя им консолидировать услуги голоса, видео и данных на единой IP-основе, обеспечивая при этом управление качеством обслуживания (QoS), а также безопасную и надежную передачу информации и плавный переход между сетями различных типов во время активной сессии абонента.

Являясь важным аспектом для развертывания современных сервисов (VoLTE, VoNR, RCS), IMS способствует постепенной эволюции к сетям пятого и шестого поколений мобильной связи и тактильного интернета.

В контексте актуальных задач особое значение приобретает наличие отечественных решений, соответствующих мировым стандартам. Российская разработка SI3000 vIMS от АО «Искра Технологии» в сочетании с облачной платформой SP5000 ICP демонстрирует возможность полноценного импортозамещения в сегменте телекоммуникационного программного обеспечения. Её виртуализированная

архитектура, соответствующая стандартам ETSI и 3GPP, позволяет операторам строить современные, гибкие и масштабируемые сети следующего поколения, сохраняя контроль над критически важной инфраструктурой.

Литература

1. European Telecommunications Standards Institute. Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (3GPP TS 25.331 version 5.17.0 Release 5), 2006. 1047 с.
2. *Гольдштейн Б.С.* Инфокоммуникационные сети и системы. СПб.: БХВ-Петербург, 2019. 208 с.
3. *Росляков А.В., Ваняшин С.В., Самсонов М.Ю., Шibaева И.В., Чечнева И.А.* Сети следующего поколения NGN. Под общ. редакцией Рослякова. Москва, Эко-Трендз, 2009. 424 с.
4. *Вэнь Тонг, Пейин Чжу.* Сети 6 G. Путь от 5G к 6 G глазами разработчиков. От подключенных людей и вещей к подключенному интеллекту. / пер. с англ. В.С. Яценкова. М.: LVR Пресс, 2022. 624 с.
5. *Смелянский Р.Л., Антоненко В.А.* Концепции программного управления и виртуализации сетевых сервисов в современных сетях передачи данных: учебное пособие. М.: КУРС, 2020. 160 с.
6. АО «Искра Технологии». SI3000 vIMS «Программная платформа комбинированного узла связи (с приложениями) на основе технологии мультисервисных сетей». Описание продукта. Web: <https://iskratechno.ru/upload/iblock/32c/j55d6shjaupgkvsp8zqdlhm6437g9fz5.pdf>.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ В ПОМЕЩЕНИИ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бобриков Матвей Игоревич

Московский технический университет связи и информатики, студент, магистрант, Москва, Россия
bobrikov.matvey@gmail.com

Воронова Лилия Ивановна

Московский технический университет связи и информатики, профессор, д.ф.-м.н., Москва, Россия

Аннотация

Исследованы проблемы точной локализации в промышленных помещениях, где многолучевое распространение сигналов и динамика среды ограничивают эффективность классических методов. Предложен алгоритм Wi-Fi-позиционирования на основе глубокого метрического обучения, отображающий RSSI-векторы в пространство, учитывающее реальную топологию. Алгоритм обеспечивает устойчивость в условиях NLOS, интеграцию с edge-вычислениями и баланс точности, масштабируемости и стоимости для цифровых двойников.

Ключевые слова:

позиционирование внутри помещений, цифровое производство, цифровой двойник, Wi-Fi, граничные-устройства, глубокое метрическое обучение, triplet loss, фильтр Калмана.

Введение

Корректное определение местоположения объектов в помещениях – один из базовых элементов интеллектуальных производственных систем и цифровых двойников. В закрытой среде задача локализации принципиально сложнее, чем на открытой местности: радиосигналы отражаются, рассеиваются и экранируются, вызывая многолучевое распространение и смешение прямых и отражённых каналов, что даёт ошибки в оценке расстояний и направлений. Отсутствие прямой видимости, затухание и теневые зоны усугубляют неточности, а динамика среды – движение людей, техники и перестановки — нарушает стабильность калибровки, включая методы цифровых отпечатков. Неподходящая геометрия опорных точек и задержки обработки снижают возможность применения в реальном времени. Для цифрового производства требуются адаптивные, устойчивые к многолучевому распространению и быстро реагирующие подходы, сохраняющие связь цифрового двойника с физическим пространством. Такие требования определяют направления исследований: моделирование многолучевого распространения, адаптивная калибровка и методы с малой задержкой вычислений.

В статье описывается разработка алгоритма определения местоположения объекта с модулем Wi-Fi в закрытой среде со сложной геометрией, усложняющей локализацию объекта наблюдения.

Анализ проектов определение местоположения объектов в помещениях

Формирование цифрового производства, предъявляет серьезные требования к системам пространственного мониторинга в реальном времени. Точное определение местоположения оборудования, материалов и персонала внутри помещений становится все более важно. Оно обеспечивает критически важную связь между физическим миром и его цифровым двойником, лежа в основе интеллектуального управления активами, предиктивного обслуживания, кооперативной робототехники и обеспечения безопасности [1]. Однако сложная и динамичная среда промышленных объектов, характеризующаяся многолучевым распространением сигналов, отсутствием прямой видимости и постоянными изменениями, создает фундаментальные препятствия для достижения требуемых показателей точности, надежности и масштабируемости. Это обуславливает необходимость постоянного анализа и совершенствования технологий в данной области [2, 3].

В литературе можно выделить три взаимодополняющих исследовательских вектора. Обзорные работы, такие как [4] выполняют систематизирующую функцию, классифицируя технологии IPS и их прикладные сценарии в сфере цифрового производства. Прикладные исследования фокусируются на совершенствовании конкретных технологий: так, в работе [5] предложен алгоритм коррекции ошибок для системы позиционирования в реальном времени на основе сигналов ультраширокой полосы (UWB) в условиях отсутствия прямой видимости, показавший сокращение погрешности на 24%, однако авторы констатируют узкую применимость метода и сохраняющиеся проблемы масштабируемости.

Фундаментальные аналитические исследования, такие как [6], обеспечивают методологическую базу, критически оценивая технологические барьеры (стоимость, стандартизацию) и подчеркивая итеративный характер развития IPS, где прогресс сопряжен с необходимостью комплексной оценки жизненного цикла решения для его глубокой интеграции в киберфизические системы.

Таким образом, выявленные недостатки существующих разработок можно отнести к одной из трех основных проблем: разрыв между технологией локализации и её интеграцией в системы управления; сохраняющиеся технологические вызовы, связанные с точностью в динамичных средах, масштабируемостью и экономической эффективностью, включая сложность специализированных алгоритмов для NLOS-условий; а также высокая стоимость инфраструктуры, препятствующая внедрению на малых и средних предприятиях. Следовательно, требуются дальнейшие исследования, направленные на: создание интеллектуальных алгоритмов для глубокой интеграции данных в цифровую инфраструктуру; разработку адаптивных и робастных методов, устойчивых к изменениям среды; поиск решений с оптимальным балансом «точность-масштабируемость-стоимость». Реализация этих направлений позволит вывести гибкость, эффективность и безопасность интеллектуального производства на новый уровень.

На кафедре ИСУиА исследователи активно занимаются разработкой современных методов и управляющих систем для создания приложений для робототехнических систем и цифровых двойников производства. В работах [7-11] разрабатываются модели для планирования движения промышленного манипулятора в целевом пространстве, протоколы для эффективной маршрутизации данных в беспроводной сенсорной сети, модели цифрового двойника технологического процесса.

Проблемы методов позиционирования

Классические методы позиционирования в помещениях включают радиочастотные технологии (RFID), ультразвуковые, оптические и инерциальные подходы. RFID-системы основаны на измерении мощности принимаемого сигнала (RSSI), времени прибытия (TOA) или разнице времени прибытия (TDOA), однако их точность существенно снижается в условиях отсутствия прямой видимости, экранирования и многолучевого распространения, а масштабирование требует развертывания обширной инфраструктуры считывателей [12]. Ультразвуковые методы обеспечивают высокую точность на коротких расстояниях, но крайне чувствительны к препятствиям, отражениям и акустическим помехам, что ограничивает их применение открытыми пространствами.

Оптические системы, включая камеры, LiDAR и алгоритмы SLAM, достигают сантиметровой точности, но зависят от качества освещения, требуют значительных вычислительных ресурсов и уязвимы к запыленности или задымлению промышленных сред. Инерциальные системы на базе IMU (акселерометры, гироскопы) отслеживают относительное движение, однако страдают от накопления дрейфа ошибок и обязательно нуждаются во внешней периодической коррекции [13]. Ни один из классических подходов не является универсальным: высокоточные методы плохо масштабируются, а масштабируемые уступают в точности и робастности. В связи с этим внимание исследователей смещается к современным беспроводным технологиям – Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) и Ultra-Wide Band (UWB) – в комбинации с алгоритмами машинного обучения и сенсорной фузией.

Wi-Fi-системы используют существующую инфраструктуру и методы цифровых отпечатков (fingerprinting), но сильно зависят от стабильности среды; более точные результаты дают подходы на основе анализа состояния канала (CSI). BLE привлекателен низким энергопотреблением и стоимостью, однако флуктуации RSSI снижают точность; нейросетевые методы позволяют компенсировать эти недостатки. UWB обеспечивает наивысшую точность (до сантиметров) и устойчивость к многолучевому распространению благодаря широкой полосе, но требует специализированного оборудования и точной синхронизации [14]. Для преодоления ограничений отдельных технологий активно применяются алгоритмы машинного обучения и сенсорная фузия, объединяющие данные RSSI, CSI, временные характеристики и инерциальные измерения. Гибридные мультимодальные архитектуры, комбинирующие UWB, Wi-Fi и BLE с ML-алгоритмами, значительно повышают точность, устойчивость к шуму и отражениям, сглаживая слабые стороны каждой технологии.

В контексте цифрового производства, где оборудование, материалы и персонал постоянно перемещаются, система позиционирования должна обеспечивать минимальную задержку обновления данных и высокую точность, иначе цифровой двойник будет отставать от физического процесса, нарушая синхронизацию киберфизических систем [15].

Точное определение местоположения становится ключевым элементом интеллектуального управления активами, предиктивного обслуживания, координации кооперативной робототехники и обеспечения безопасности. В гибких производственных системах особенно важна адаптивность: изменения

планировки оборудования, маршрутов роботов или зон перемещения персонала не должны требовать полной переустановки инфраструктуры. Гибридные подходы с ML-коррекцией ошибок в NLOS-условиях, интеграцией SLAM и фильтров Калмана, а также распределенными edge-вычислениями демонстрируют высокую устойчивость к динамике среды и снижение задержек. Wi-Fi-локализация выступает базовым слоем IoT-архитектуры цифрового производства: точки доступа одновременно служат маяками для позиционирования (по RSSI или CSI), а edge-устройства выполняют предварительную фильтрацию, сглаживание и предсказание, передавая агрегированные данные в центральную платформу цифрового двойника для анализа логистики, процессов и безопасности.

Разработка алгоритма позиционирования

Как отмечалось ранее, Wi-Fi-локализация выступает базовым слоем IoT-архитектуры цифрового производства, где точки доступа одновременно служат маяками для позиционирования по RSSI или CSI, а edge-устройства обеспечивают предварительную фильтрацию, сглаживание и предсказание, передавая агрегированные данные в центральную платформу цифрового двойника для анализа логистики, процессов и безопасности [16]. Для преодоления ограничений традиционных методов цифровых отпечатков, связанных с нелинейными зависимостями между векторами сигналов и реальными геометрическими расстояниями в условиях многолучевого распространения, отражений, экранирования и отсутствия прямой видимости, предлагается алгоритм локализации на основе глубокого метрического обучения. Этот подход развивает идеи, изложенные в анализе проблем позиционирования, где подчеркивалась необходимость адаптивных методов, устойчивых к динамике промышленной среды и обеспечивающих минимальную задержку для реального времени синхронизации с цифровым двойником.

Предлагаемый алгоритм опирается на преобразование исходных векторов RSSI в компактное пространство представлений (embedding), где расстояния между точками отражают не исходное сходство сигналов, а физическую близость в помещении с учетом реальной топологии — стен, оборудования и препятствий. Это напрямую адресует проблемы, описанные ранее: флуктуации RSSI из-за многолучевого распространения и шума перестают доминировать, поскольку обучение фокусируется на сохранении локальной структуры пространства. В результате достигается повышенная робастность к NLOS-условиям и изменениям среды без необходимости частой калибровки, что особенно важно для гибких производственных систем Индустрии 4.0.

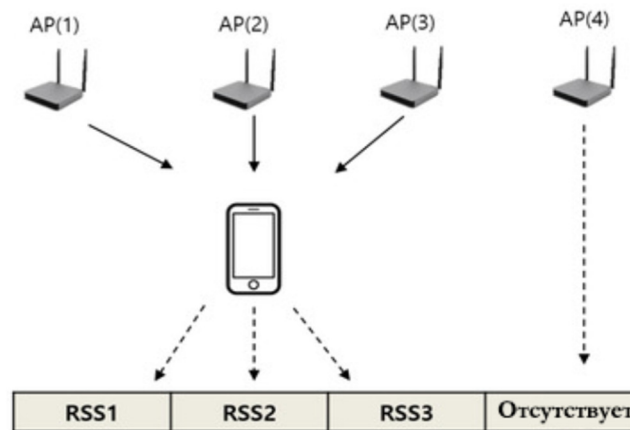


Рис. 1. RSSI вектор для конкретной точки

Работа алгоритма разделена на два этапа: оффлайн (автономный) и онлайн. Оффлайн-этап посвящен формированию радио-карты и обучению модели отображения. Сначала собираются векторы RSSI в множестве опорных точек (Reference Point, RP), как показано на рисунке 1. Ключевым нововведением является учет не евклидовых расстояний между RP, а реальных путей расстояний – минимальных допустимых маршрутов с учетом планировки и препятствий. Для каждой пары опорных точек определяется порог близости, на основе которого формируются обучающие примеры: пары или триплеты, где различаются близкие и удаленные точки. Триплет состоит из якорной точки x_a , положительного примера x_p (близкого по пути) и отрицательного x_n (удаленного). Такой подход позволяет реалистично моделировать структуру помещения, где сигналы от точек за стеной могут быть схожими, но физически они разделены.

Далее разрабатывается нейронная сеть, реализующая отображение исходных RSSI-векторов высокой размерности в низкоразмерное embedding-пространство. Архитектура сети представляет собой последовательность полносвязных слоев с нелинейными активациями и нормализацией. Каждый слой последовательно извлекает признаки, моделируя сложные корреляции в сигналах, вызванные физическими эффектами распространения. Нормализация выходов обеспечивает сопоставимость расстояний, делая пространство метрическим и стабильным. Обучение сети направлено на минимизацию специализированной функции потерь типа triplet loss, которая сочетает компоненты притяжения (сближение представлений близких точек) и отталкивания (отдаление с заданным запасом). Это предотвращает тривиальные решения и способствует формированию компактных кластеров для близких RP.

Важным аспектом является отбор триплетов: используются не все возможные комбинации, чтобы избежать вычислительной сложности, а информативные – те, которые нарушают условие порядка расстояний или находятся в зоне маржи. Такой динамический отбор адаптирует модель к наиболее сложным паттернам многолучевого распространения, повышая общую робастность. В итоге оффлайн-этап формирует оптимизированную радио-карту в embedding-пространстве, где поиск сходства становится более информативным и точным по сравнению с традиционными методами в исходном пространстве сигналов.

На онлайн-этапе алгоритм обеспечивает оперативную локализацию в реальном времени. Текущий вектор RSSI от устройства преобразуется обученной сетью, показанной на рисунке 2, в embedding-вектор. Оценка положения сводится к поиску ближайших опорных точек в этом пространстве с использованием взвешенного метода k-ближайших соседей (WKNN). Вес каждой соседней точки обратно пропорционален расстоянию в embedding, что усиливает вклад наиболее релевантных RP и нивелирует влияние шумов или аномалий. Для дополнительной устойчивости к стохастической природе сигналов может применяться моделирование неопределенности через распределения, менее чувствительные к выбросам, чем гауссовы.

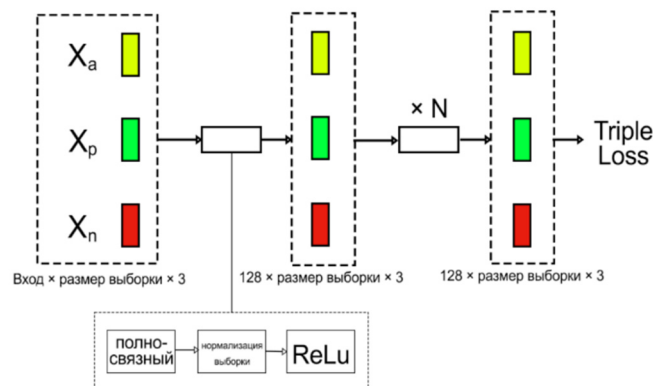


Рис. 2. Архитектура модели глубокого обучения

Финальным шагом является интеграция фильтра Калмана для сглаживания траектории. Полученные от WKNN координаты тракуются как зашумленные наблюдения динамической системы. Фильтр рекуррентно сочетает прогноз на основе предыдущего состояния (с учетом модели движения) с новыми измерениями, балансируя доверие к ним через коэффициенты, зависящие от оцениваемой дисперсии. Это эффективно подавляет скачки, вызванные мгновенными помехами или многолучевостью, обеспечивая плавные и физически правдоподобные траектории. В результате система минимизирует задержки, сохраняя высокую точность даже в динамичных условиях – перемещении персонала, техники или изменениях планировки.

Предлагаемый алгоритм сочетает преимущества Wi-Fi как доступной технологии с мощностью машинного обучения, достигая баланса точности, масштабируемости и стоимости, что решает ключевые вызовы, выделенные в анализе литературы: интеграцию в системы управления, устойчивость к NLOS и экономическую эффективность. Перенос части вычислений (преобразование в embedding и предварительная обработка) на edge-устройства снижает нагрузку на центральную платформу, способствуя малой задержке и энергоэффективности. В контексте цифрового производства это усиливает связь физического мира с цифровым двойником, поддерживая приложения в мониторинге активов, предиктивном обслуживании и безопасности [17].

Заключение

В настоящей статье рассмотрены ключевые проблемы систем позиционирования в помещениях в контексте цифрового производства. Точное определение местоположения объектов в закрытых пространствах осложняется многолучевым распространением сигналов, отсутствием прямой видимости, экранированием и динамическими изменениями среды, что приводит к значительным ошибкам традиционных методов и нарушению синхронизации физического мира с цифровым двойником. Анализ существующих технологий (UWB, Wi-Fi, BLE, инерциальные и оптические подходы) показал их ограничения: высокая точность часто достигается за счет дорогой инфраструктуры и низкой масштабируемости, в то время как доступные решения недостаточно устойчивы к шуму и NLOS-условиям.

Основным вкладом работы является разработка алгоритма локализации на основе глубокого метрического обучения для Wi-Fi-based систем. Предлагаемый подход преодолевает недостатки классических методов, основанных на цифровых отпечатках путем отображения векторов RSSI в компактное embedding-пространство, где расстояния между представлениями отражают реальную топологию помещения с учетом путевых расстояний и препятствий.

Такой алгоритм обеспечивает минимальную задержку, устойчивость к динамике среды и интеграцию с edge-вычислениями, делая его подходящим для мониторинга активов, логистики и безопасности в цифровом производстве. Преимущества проявляются в балансе точности, стоимости и масштабируемости за счет использования существующей Wi-Fi-инфраструктуры и ML-коррекции.

Перспективы развития включают гибридную фузию с другими сенсорами, адаптивное онлайн-обучение и интеграцию с новыми стандартами связи для дальнейшего повышения точности. Экспериментальная валидация в реальных условиях подтвердит эффективность, способствуя внедрению в интеллектуальные производственные системы [18].

Литература

1. Xiao J. et al. Pilot: Passive device-free indoor localization using channel state information // 2013 IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems. IEEE, 2013. С. 236-245.
2. Антонов Н. П. Метод локализации в помещении на основе отпечатков пальцев Wi-Fi посредством стандартной оптимизации роя частиц // Современные информационные технологии. 2023. С. 17-26.
3. Миронов М. А. и др. Методы определения местоположения при помощи Wi-Fi сетей // Радиотехнические, оптические и биотехнические системы. Устройства и методы обработки информации. 2022. С. 67-69.
4. Li P., Liu Y., Zhang H., Wang J. Indoor positioning systems in industry 4.0 applications: Current status, opportunities, and future trends // Digital Engineering. 2024. Т. 3. С. 100020.
5. Sidiropoulos A., Papathanasopoulos D., Roussou M., Moustakas K. Implementing an Industry 4.0 UWB-Based Real-Time Locating System for Optimized Tracking // Applied Sciences. 2025. Т. 15. № 5. С. 2689.
6. Alarifi A., Al-Salman A., Alsaleh M., Alnafessah A., Al-Hadhrani S., Al-Ammar M. A., Al-Khalifa H. S. Ultra Wideband Indoor Positioning Technologies: Analysis and Recent Advances // Sensors. 2016. Т. 16. № 5. С. 707.
7. Voronova L. I., Mohammad N. F., Smolnikov V. A., Voronov V. I. Comparative Analysis of Kinematic Model Predictions and Real Data for 6-DOF Robot KUKA KR4R600 // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948030.
8. Mohammad N. F., Voronova L. I., Voronov V. I. Protocol Development for Efficient Data Routing in a Terrestrial Wireless Sensor Network // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1-8, doi: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948076.
9. Smolnikov V. A., Voronova L. I., Mohammad N. F. Motion Planning of the Industrial Manipulator in the Target Space // 2025 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2025, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF64229.2025.10948074.
10. Voronov V. I., Smolnikov V. A., Voronova L. I., Antonycheva O. L., Belov N. V. The Training Set Automating for a Neural Network Model of an Industrial Robot Control System // 2024 International Conference "Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies" (QM&TIS&IT), Nalchik, Russian Federation, 2024, pp. 130-136, doi: 10.1109/QMTISIT63393.2024.10762927.
11. Smolnikov V. A., Voronova L. I., Voronov V. I., Rozhkov S. A., Petukhov V. M. Simulation of the Digital Twin of the Technological Process of Creating a Demonstrator Using R-Pro Digital // 2024 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Moscow, Russian Federation, 2024, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF60226.2024.10496776.
12. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2017. Т. 22. № 1. С. 170-177.

13. *Ниженец Т. В., Чернышев Н. Н.* Возможности применения радиочастотных технологий для определения местоположения объектов в складских помещениях // *Фабрика будущего: переход к передовым цифровым технологиям.* 2023. С. 320-330.
14. *Миронов М. А.* и др. Методы определения местоположения при помощи Wi-Fi сетей // *Радиотехнические, оптические и биотехнические системы.* 2022. С. 67-69.
15. *Li P., Liu Y., Zhang H., Wang J.* Indoor positioning systems in industry 4.0 applications: Current status, opportunities, and future trends // *Digital Engineering.* 2024. Т. 3. С. 100020.
16. *Zafari F., Gkelias A., Leung K. K.* A survey of indoor localization systems and technologies // *IEEE Communications Surveys & Tutorials.* 2019. Т. 21. № 3. С. 2568-2599.
17. *Ludwig S.* et al. Reference network and localization architecture for smart manufacturing based on 5G // *International Conference on System-Integrated Intelligence.* Cham: Springer International Publishing, 2022. С. 470-479.
18. *Neupane I., Alsinglawi B., Rabie K.* Indoor positioning using Wi-Fi and machine learning for industry 5.0 // *2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom Workshops).* IEEE, 2023. С. 359.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИХ ОЦЕНОК (QoE) В СТРИМИНГОВЫХ СЕРВИСАХ

Степанова Анастасия Алексеевна

Московский технический университет связи и информатики, студент, Москва, Россия
a.a.stepanova@edu.mtuci.ru

Гусакова Алиса Андреевна

Московский технический университет связи и информатики, студент, Москва, Россия
a.a.gusakova@edu.mtuci.ru

Толасова Антонина Андреевна

Московский технический университет связи и информатики, студент, Москва, Россия
a.a.tolasova@edu.mtuci.ru

Власюк Игорь Викторович

Московский технический университет связи и информатики, доцент, к.т.н., Москва, Россия
i.v.vlasiuk@mtuci.ru

Аннотация

В статье представлен анализ методов прогнозирования и повышения пользовательских оценок, также известных как QoE (Quality of Experience) в потоковом вещании стриминговых сервисов. Продемонстрированы принципы работы каждого из рассматриваемых методов, обозначены их области применения. Приведена сравнительная характеристика способов, сделаны выводы о релевантности использования каждого из них, а также показано направление дальнейшей работы.

Ключевые слова

QoE, Quality of Experience, пользовательские оценки, стриминг, стриминговые сервисы

Введение

В последние десятилетия в мире наблюдается рост объемов передаваемого трафика данных, при этом доля передаваемого видеотрафика, в частности, трафика стриминговых сервисов также растет. По прогнозам такая тенденция сохранится в ближайшие годы [1] и к 2034 году в общем ежемесячном трафике более трех ЭБ доля видеостриминга превысит 60%. Количество пользователей сети Интернет неуклонно растет равно, как и количество мобильных устройств, которые подключены к этой сети. Стриминговые сервисы становятся всё более популярными среди пользователей-потребителей контента. Интерес потребителей к стримингу рождает конкуренцию среди платформ, заставляя неустанно совершенствоваться, чтобы удержать пользователей. Одним из способов улучшения стримингового контента является прогнозирование уровня пользовательских оценок (QoE), а в последующем их повышение. Прогнозирование оценок позволяет предсказать степень удовлетворённости пользователя, а повышения степени удовлетворённости ведет к положительной ответной реакции. Одновременно указанная оптимизация приводит к экономии трафика, что при существующих и перспективных объемах его передачи должно давать значительный экономический эффект. В данной статье приведен анализ существующих методов прогнозирования QoE и намечены направления дальнейшей работы.

Результаты исследований

Значительную роль в успешной работе любого стримингового сервиса играют пользовательские оценки. Задача QoE состоит в отражении реакций со стороны потребителей предоставляемого контента, а именно степени удовлетворённости или неудовлетворённости получаемым продуктом. Для любой стриминговой платформы ключевыми задачами являются удержание своей целевой аудитории и привлечение новых пользователей. Прогнозирование и повышение пользовательских оценок

является перспективным способом осуществления вышепоставленных задач. Прогнозирование QoE позволяет заранее оценить степень приемлемости транслируемого контента, исключить риски провальной трансляции. Повышение QoE в свою очередь нужно, если результаты прогнозирования не удовлетворяют требованиям пользователей. Рассмотрим разработанные методы прогнозирования и повышения QoE.

Степень корректности прогнозирования пользовательских оценок напрямую зависит от целого ряда факторов, которые имеют непосредственное влияние на формирование пользовательских оценок. В таблице 1 представлена классификация факторов, влияющих на QoE [2].

Таблица 1

Классификация факторов, влияющих на QoE

Факторы влияния	Конкретизация факторов
Факторы, имеющие отношение к пользователю	Физиологические особенности зрительного аппарата, уровень внешних шумов, концентрация устройств, месторасположение, возраст, пол
Используемое стриминговое приложение	Тип приложения, требования
Используемое пользователем устройство	Размеры экрана, поддерживаемое разрешение, методы ввода и вывода
Характеристики используемого Интернет-соединения	Уровень загрузки сети, тип сети, ширина используемой полосы пропускания, время задержки, типы протоколов, уровень сигнала.

На данный момент существует большое количество методов прогнозирования пользовательских оценок, однако их можно разделить на три большие группы:

1. Методы, использующие линейную и нелинейную регрессию для осуществления прогнозирования.
2. Методы, в основе которых лежит корреляционный анализ.
3. Методы, основанные на использовании машинного обучения и искусственного интеллекта.

Рассмотрим каждую группу методов на конкретном примере.

Примером реализации метода прогнозирования пользовательских оценок на основе корреляционного анализа может служить модель, разработанная на основе поиска взаимосвязи между пользовательскими оценками и качеством сервиса (QoS) [3]. В данной разработке авторами были выделены критически важные параметры качества обслуживания, которые имеют наибольшее влияние на формирование пользовательских реакций, что обусловлено анализом QoE/QoS отношений. К таким параметрам были отнесены следующие составляющие QoS: ширина полосы пропускания, временное снижение скорости передачи, джиттер пакетов, потеря пакетов и задержки пакетов. Каждому из обозначенных параметров был дан соответствующий коэффициент, отражающий степень влияния этого фактора на формирование QoE. В таблице 2 приведены значения данных коэффициентов в соответствии с составляющей QoS.

Таблица 2

Степень влияния параметров QoS

Параметры QoS	Степень влияния
Ширина полосы пропускания (B)	7.8%
Задержка пакетов (D)	10.6%
Джиттер пакетов (J)	10.7%
Временное снижение скорости передачи (U)	29.2%
Потеря пакетов (L)	41.7%

Нормализованное значение качества сервиса находят как сумму произведений значений выбранных параметров QoS и соответствующих им коэффициентов, обозначенных в таблице 2.

Расчет прогнозируемого значения QoE на основе нормализованного значения QoS будет рассчитываться по формуле (1).

$$QoEv = Qr(1 - QoS(X)) \frac{QoS(X)A}{R}, \tag{1}$$

где $QoEv$ – итоговое значение оценки пользователей;

Qr – коэффициент, ограничивающий диапазон пользовательских оценок, основываясь на размерах экрана и/или разрешения терминала;
 $QoS(X)$ – нормализованные значения качества обслуживания;
 A – константа, обозначающая класс подписки на услугу;
 R – константа, отражающая структуру кадров видеозаписи по отношению к длине группы кадров (GoP).

Удовлетворённость пользователей качеством потребляемого контента оценивается по пятибалльной шкале, где один балл соответствует полной неудовлетворённости, а пять – наивысшей степени удовлетворённости.

Тестирование разработанной системы прогнозирования проходило на примере двух случаев с одинаковыми параметрами для составляющих QoS. В первом случае для исследования был взят сервис с качеством изображения HD, во втором же случае – с качеством SD. Одинаковые значения параметров QoS дали разные значения коэффициентов значимости в соответствии с разными классами обслуживания, что привело к тому, что прогнозируемое значение QoE для стандартного качества, чем для высокого качества.

Таким образом, рассмотренный метод позволяет провайдером и стриминговым компаниям математически рассчитывать прогнозируемый уровень QoE на основе данных QoS. Стриминговые платформы могут осуществлять поставку своих услуг с лучшим качеством и отслеживать степень удовлетворённости в режиме реального времени. Такой метод подходит для IPTV.

Рассмотрим метод прогнозирования пользовательских реакций на основе искусственного интеллекта и моделей машинного обучения. Рассматриваемый метод основан на прогнозировании пользовательских оценок в режиме реального времени, используя модели машинного обучения [4]. Модель машинного обучения, используемая в данном методе, основана на построении дерева решений с учетом двух параметров: ответной реакции со стороны пользователя, получаемой в режиме реального времени, и данных о доступном качестве сети и других параметрах QoS. Для построения дерева решений была взята модель деревьев решений Хеффдинга. Отличительной особенностью данной модели является её способность оптимально разделять потоки данных с учетом каждого нового наблюдения. Для усовершенствования создаваемого метода путём снижения количества ошибок была использована модель опциональных деревьев Хеффдинга. Опциональные деревья Хеффдинга используются для проведения нескольких тестов одновременно [5].

Также был использован ансамблевый метод обучения многоклассового классификатора с разными стратегиями Oza bagging. Онлайн-метод ансамблевого бэггинг подходит для стриминговых трансляций, так как работает в прямом эфире. Утверждается, что точность онлайн-классификатора бэггинга при определённых условиях и на обучающем наборе, где количество примеров стремится к бесконечности, приближается к точности пакетного классификатора бэггинга [6].

На рисунке 1 показана упрощенная блок-схема разрабатываемой модели.

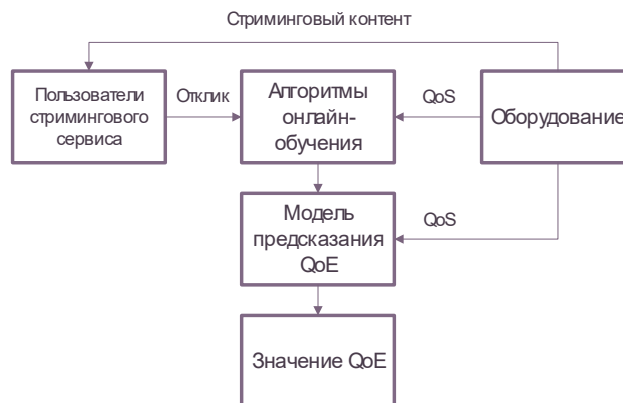


Рис. 1. Упрощенная блок-схема модели предсказания QoE с использованием машинного обучения

Как видно из рисунка, алгоритмы машинного обучения проходят своё обучение на двух типах данных: откликах со стороны потребителей и параметрах качества сервиса. Эти данные сопоставляются между собой для создания обучающих точек данных. Система обучения в свою очередь строит модель предсказания, которая выдает ожидаемый уровень QoE.

Результаты тестирования данного метода говорят о том, что использование деревьев решения Хеффдинга позволяет получить высокую точность прогнозирования (порядка 90%). Использование

деревьев решения Хефдинга в совокупности с ансамблевым методом обучения классификатора способствуют достижению высокой точности прогноза за более короткий срок.

Метод прогнозирования на основе машинного обучения подходит для стриминговых трансляций, так как может обрабатывать отклик со стороны пользователей сразу после его поступления.

Примером реализации метода прогнозирования пользовательских реакций с помощью регрессии может служить разработка под названием OneClick [7]. Метод состоит из двух фаз: первая состоит в создании экспериментов для получения отзывов от пользователей, а вторая – в анализе собранных данных, которые позволяют понять, как разные пользователи реагируют на различные сетевые настройки. Упрощенная блок-схема разработанного метода представлена на рисунке 2. Основой разработки служит прямое взаимодействие с пользователями, которые дают ответную реакцию по средствам клика в моменты, когда они замечают неудовлетворяющее их качество. Было выдвинуто предложение о том, что распределение кликов от пользователей в течение промежутка времени можно представить как процесс подсчета, что в свою очередь привело к использованию пуассоновской регрессии [8]. Применение модели пуассоновской регрессии позволяет определить временную разницу между появлением неудовлетворяющего фрейма контента и реакцией на этот фрейм и устранить получившуюся задержку.

Также происходит нормализация кривых частоты кликов перед объединением их в единую кривую. После происходит создание модели, отражающей взаимосвязь между состоянием сети и частотой кликов. Модели позволяет предсказать частоту кликов, учитывая каждый параметр сети. За проверку получаемых результатов на достоверность отвечает сравнение с показаниями методов объективной оценки качества, а именно PESQ и VQM. PESQ используется для оценки качества звука при разных сетевых настройках, а VQM определяет качество видео, сравнивая искаженную версию с оригиналом. Тестирование системы происходило при разных сценариях, включая прямые трансляции в мессенджерах мгновенного обмена сообщениями, онлайн-играх. Данная разработка является дополнением к объективным методам оценки, так как обладает способностью к учитыванию факторов, не поддающихся подсчету.

Проведя анализ примеров трёх способов прогнозирования QoE можно говорить о том, что все выбранные методы подходят для стриминговой трансляции, так как они учитывают параметры сети, что имеет прямое отношение к передаче контента в режиме реального времени. Однако корреляционный метод прогнозирования позволяет только математически рассчитать ожидаемую реакцию потребителей в то время, как методы, основанные на машинном обучении и пуассоновской регрессии, работают на основе пользовательских откликов, которые получаются и обрабатываются в реальном времени.

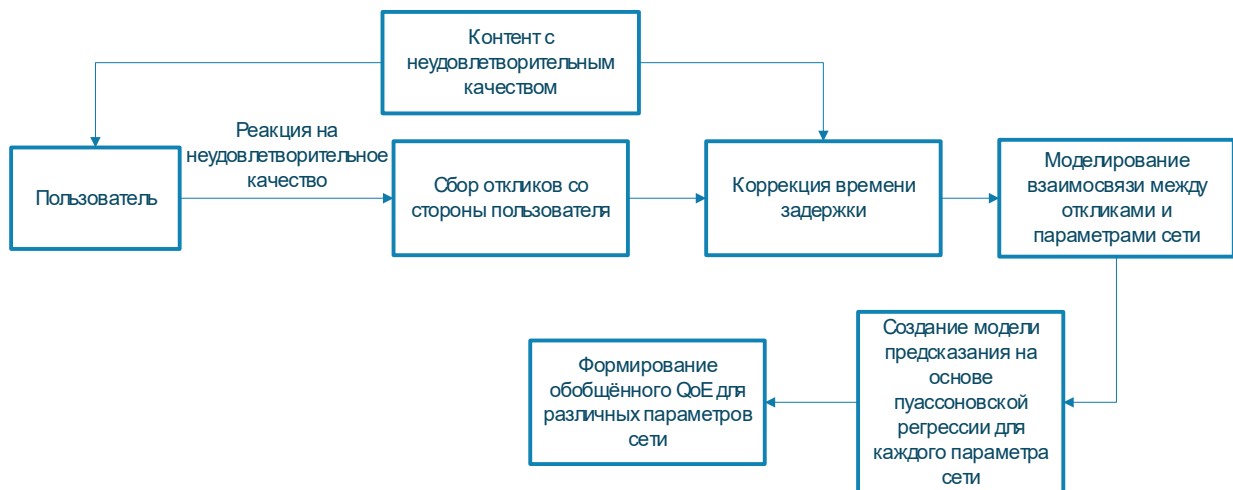


Рис. 2. Упрощенная блок-схема модели на основе пуассоновской регрессии

Говоря о методах повышения уровня пользовательских оценок (QoE), можно рассмотреть дополнение к стриминговому протоколу MPEG-DASH. Технология MPEG-DASH относится к адаптивному битрейту, что означает передачу стримингового контента несколькими файлами, которые закодированы с разной скоростью передачи. Это позволяет подстраиваться под условия используемой сети и не прерывать стриминг при ухудшении параметров сети путём снижения качества потребляемого контента [9]. Дополнение получило название SAND и представляет собой архитектуру, состоящую из четырех видов сетевых элементов, которые совершают обмен сообщениями между собой. Схема архитектуры SAND показана на рисунке 3.

Сетевые элементы, поддерживающие протокол DASH, обмениваются сообщениями, содержащими информацию о параметрах, улучшающих качество доставки (PED); от этих же сетевых элементов к клиенту направляются сообщения, содержащие параметры, которые ответственны за улучшение приёма (PER); в свою очередь клиент отправляет сообщения в ответ (status), а также сообщения, которые направляются на сервер и содержат информацию о метриках (metrics) [10]. Благодаря появлению внутренних сообщений появилось возможность организации централизованного управления выбора качества, применимого сразу к нескольким потокам. Такая возможность позволяет повысить качество обслуживания (QoS), а, как следствие, и пользовательские оценки (QoE).

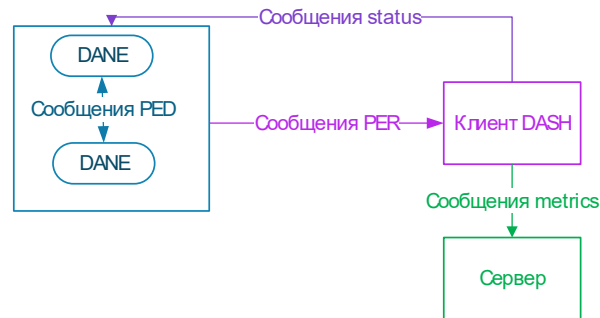


Рис. 3. Схема архитектуры SAND

Заключение

В данной статье были рассмотрены методы прогнозирования пользовательских оценок (QoE), основанные на трёх разных технологиях. Также был рассмотрен метод повышения уровня пользовательских оценок по средствам применения дополнения стримингового протокола MPEG-DASH SAND.

Анализ представленных методов показал, что методы, обрабатывающие отклики пользователей в реальном времени, лучше подходят для стриминговых трансляций, так как позволяют корректировать значение QoE практически мгновенно, получив соответствующую команду от пользователя.

Наиболее перспективными являются методы прогнозирования QoE на основе машинного обучения, поскольку практически невозможно аналитически формализовать зависимость пользовательских оценок от значительного количества факторов, влияющих на качество передаваемого видео. Однако для реализации эффективных методов такого типа требуются обучающие выборки значительного объёма, содержащие видеопоследовательности с артефактами, возникшими при воспроизведении, метаданные, содержащие сведения об условиях отображения контента и его покadresные пользовательские оценки. Поэтому дальнейшим направлением работы мы видим создание системы сбора пользовательских оценок при потреблении медиаконтента в различных условиях [11-14], позволяющей создать такую базу данных. Программно-аппаратной основой такой системы может служить установка, описанная в [15].

Литература

1. Nokia. Global network traffic report: Global network traffic is changing in character, not just in volume. Nokia: официальный сайт / Nokia Ltd. Режим доступа: <https://www.nokia.com/asset/213660/> (дата обращения: 12.01.2026)
2. Mitra K., Zaslavsky A., Åhlund Ch. QoE Modelling, Measurement and Prediction: A Review, doi: 10.13140/2.1.2416.6404.
3. Kim H. J., Seong G. C. A Study on a QoS/QoE Correlation Model for QoE Evaluation on IPTV Service. 2010 The 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Gangwon, Korea (South), 2010, pp. 1377-1382.
4. Menkovski V., Exarchakos G., Liotta A. Online QoE Prediction // 2010 2nd International Workshop on Quality of Multimedia Experience, QOMEX 2010, pp. 118-123, doi: 10.1109/QOMEX.2010.5517692.
5. Domingos P., Hulten G. Mining high-speed data streams // Proceedings of the sixth ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining, 2000, pp. 71-80.
6. Oza N.C., Russell S. Online bagging and boosting // Artificial Intelligence and Statistics, 2001, pp. 105-112.
7. Chen K. -T., Tu C. -C., Xiao W. -C. OneClick: A Framework for Measuring Network Quality of Experience // IEEE INFOCOM 2009, Rio de Janeiro, Brazil, 2009, pp. 702-710, doi: 10.1109/INFCOM.2009.5061978.
8. Harrell F. Regression Modeling Strategies: With Applications to Linear Models, Logistic Regression, and Survival Analysis. Springer, 2001.

9. *Sodagar I.* The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet // IEEE MultiMedia, vol. 18, no. 4, pp. 62-67, April 2011, doi: 10.1109/MMUL.2011.71.
10. *Thomas E., van Deventer M. O., Stockhammer Th., Begen A. C., Champel M.-L., Oyman O.* Application and Deployments of Server and Network Assisted DASH (SAND) // IBC 2016 Conference, 2016, doi:10.1049/ibc.2016.0022.
11. *Potashnikov A. M., Stroganova E. P., Vlasuyk I. V.* Color contrast method based on subjective warmth and coldness // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Vol. 19, No. 3, pp. 69-76. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-3-69-76. EDN VMCPUW.
12. *Ivanchev V. V., Vlasuyk I. V., Stroganova E. P.* Objective assessment of colours' warmth // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Vol. 18, No. 1, pp. 44-50. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-44-50. EDN EKABXU.
13. *Mozhaeva A., Vashenko E., Selivanov V.* et al. Analysis of current video databases for quality assessment // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Vol. 16, No. 2, pp. 48-56. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-2-48-56. EDN KRCZDN.
14. *Романов С. Г., Власюк И. В.* Методика расчета параметров анти-алайсинговых фильтров для коррекции спектральных характеристик в зависимости от используемых структур дискретизации массивов светофильтров // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2023. Т. 17, № 5. С. 4-13. DOI 10.36724/2072-8735-2023-17-5-4-13. EDN AKGLYF.
15. *Mozhaeva A., Potashnikov A., Vlasuyk I., Streeter L.* Constant Subjective Quality Database: The Research and Device of Generating Video Sequences of Constant Quality // 2021 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology (EMCTECH), Vienna, Austria, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/EMCTECH53459.2021.9618977.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ НА БАЗЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Ильин Никита Сергеевич

МТУСИ, магистрант группы М092501(70), Москва, Россия
nikitafaisulin1@gmail.com

Гадасин Денис Вадимович

МТУСИ, доцент, зам. зав. кафедрой СИТиС, к.т.н., Москва, Россия
dengadiplom@mail.ru

Тришина Светлана Викторовна

МТУСИ, ассистент кафедры СИТиС, Москва, Россия
l.a.tremasova@mtuci.ru

Горохов Кирилл Игоревич

МТУСИ, Магистрант, гр. М092401(75), Москва, Россия
studentgorokhov@gmail.com

Аннотация

В последнее время доминирующее положение среди архитектур занимают приложения, базирующиеся на взаимосвязанных сервисах. Данные сервисы взаимодействуют между собой через стандартизированные интерфейсы. В работе рассматривается схема интеграции сервисов и точек принятия решений, определяются их особенности по доступу. Необходимо определить, какие именно параметры влияют на решение о доступе в конкретной системе: принадлежность к организации, статус учётной записи, контур, тип выполняемой операции, чувствительность данных.

Ключевые слова:

сервисная архитектура, интегрированная сервисная архитектура, политики доступа, точки принятия решения, клиентское приложение.

Введение

За последние годы корпоративные и массовые информационные системы заметно изменились: монолитные приложения всё чаще уступают место комплексным решениям, состоящим из множества взаимосвязанных сервисов [1-3]. Компании переходят к микросервисным и гибридным архитектурам, активно используют API для взаимодействия между внутренними компонентами и с внешними партнёрами, разворачивают части инфраструктуры в публичных и частных облаках [4-6]. По данным аналитических отчётов, доля организаций, использующих микросервисный подход и непрерывную интеграцию, ежегодно растёт, а число сервисов в составе одного решения измеряется уже десятками и сотнями. Так, по данным исследования, рынок микросервисной архитектуры, который в 2024 году оценивался в 6,8 млрд долл., демонстрирует уверенный рост и, по прогнозам, достигнет 22,5 млрд долл. к 2033 году, представлено на рисунке 1].

Эта тенденция подкрепляется их широким внедрением в крупных компаниях: сегодня около 70% крупных организаций используют микросервисный подход для обеспечения масштабируемости и гибкости своих систем, следуя примеру таких пионеров отрасли, как Netflix и Amazon. В таких условиях вопрос того, кто и как имеет доступ к данным и функциональности, перестаёт быть локальной задачей отдельного модуля и превращается в сквозной механизм всей системы.



Рис. 1. Рынок и прогнозы рынка архитектуры микросервиса

На уровне архитектуры это означает, что управление доступом больше не сводится к проверке прав в одном веб-приложении или базе данных. Появляются отдельные компоненты для аутентификации и авторизации, единые каталоги пользователей, токены доступа, шлюзы API, системы федерации учётных записей, для чего используются как алгоритмы распределения нагрузки, так и алгоритмы работы с данными [7-9]. Пользовательский запрос проходит через цепочку сервисов, каждый из которых должен интерпретировать и уважать заложенную политику доступа. Любая несогласованность на этом пути – пропущенная проверка, некорректно выданные права - приводит к тому, что одни потребители получают слишком большие полномочия, а другие не могут выполнить штатные операции.

Интегрированная сервисная архитектура

Интегрированная сервисная архитектура (ИСА) представляет собой современный подход к построению информационных систем, при котором их функциональность обеспечивается не единым монолитным приложением, а набором слабосвязанных, независимо развертываемых сервисов. Эти сервисы взаимодействуют между собой через стандартизированные интерфейсы, в качестве которых чаще всего выступают API (Application Programming Interface) [10-12]. В отличие от монолитных приложений, ИСА обеспечивает существенно большую гибкость, масштабируемость и технологическую независимость разработки отдельных компонентов. Это позволяет командам работать над разными частями системы одновременно, ускоряя выход новых функций и упрощая поддержку.

Ключевыми элементами такой архитектуры являются, с одной стороны, сами сервисы, каждый из которых инкапсулирует определенную бизнес-функцию (например, управление пользователями, обработка заказов или расчеты), а с другой – механизмы их интеграции. К последним относятся API-шлюзы (API gateways), которые выступают единой точкой входа для клиентов и управляют запросами, а также системы обмена сообщениями (message brokers), обеспечивающие асинхронное и надежное взаимодействие между сервисами. Эти механизмы координируют коммуникацию, управляют потоками данных и реализуют сквозные функции, такие как аутентификация, логирование и кэширование.

Для наглядного представления типовой структуры такой системы на рисунке 2 схематично показан упрощенный вариант интегрированной сервисной архитектуры. В её составе можно выделить внешних клиентов (веб- и мобильные приложения), API-шлюз, выступающий центральным диспетчером запросов, сервер аутентификации и авторизации (IDP), набор бизнес-сервисов, а также системы хранения данных (базы данных, кэши). Дополнительно архитектура может быть расширена за счет взаимодействия с внешними сервисами партнеров или облачных платформ. Критически важным аспектом является то, что между всеми этими компонентами постоянно циркулируют учётные данные, токены доступа и контекстные атрибуты, которые определяют, какие операции допустимы для того или иного пользователя или системы в конкретной точке маршрута запроса.

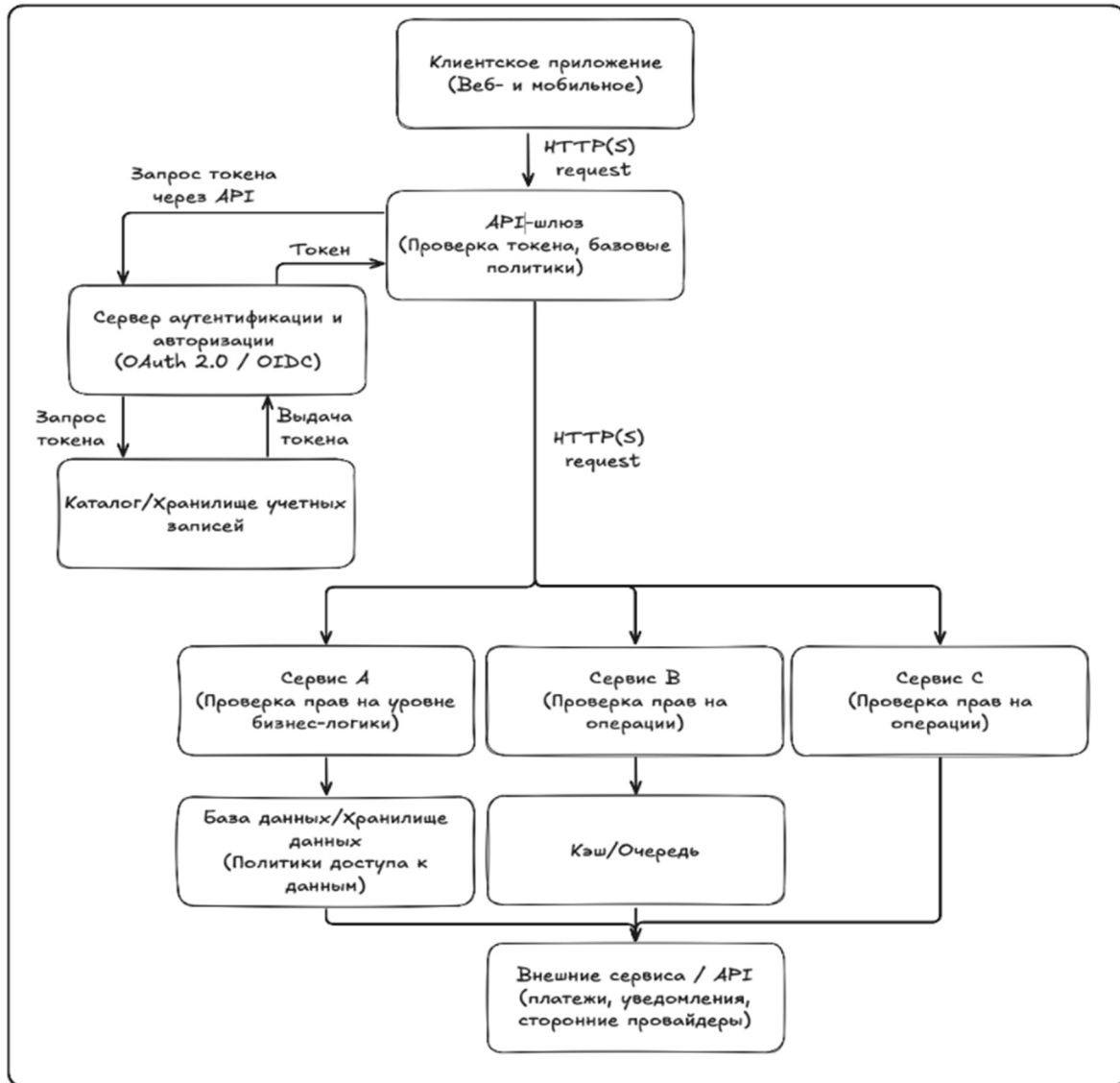


Рис. 2. Типовая схема интеграции сервисов и точек принятия решений по доступу

Управление доступом в такой среде можно рассматривать с разных сторон, как со стороны обработки информации, так и со стороны информационной безопасности: предотвращением несанкционированного доступа, утечек данных, нарушений конфиденциальности [13-14]. Однако для интегрированных систем это также вопрос корректности бизнес-логики, соблюдения договорных условий между сервисами, изоляции контуров и арендаторов, поддержания целостности данных при параллельной работе множества клиентов. Ошибка в конфигурации прав или в алгоритме проверки может привести не только к классическим инцидентам, но и к логическим “сбоям” в работе системы: некорректному распределению ролей, смешению данных разных клиентов, нарушению последовательности бизнес-процессов.

Особое место в жизненном цикле таких систем занимают среды разработки и тестирования. Чтобы новые версии сервисов выходили часто и без сбоев, организации выстраивают цепочки окружений: среду для разработчиков, интеграционный стенд, тестовый контур, предэксплуатационную среду и, наконец, промышленный контур. Эти среды постоянно синхронизируются, на них запускаются автоматические и ручные тесты, туда загружаются промежуточные версии сервисов, которые ещё не попали в реальную эксплуатацию. С точки зрения архитектуры они во многом повторяют промышленную систему, но с другими объёмами данных, другими пользователями и несколько иными настройками.

Именно здесь возникает характерный парадокс: тестовые среды, предназначенные для выявления ошибок и повышения надёжности, сами по себе часто оказываются слабо контролируемыми с точки зрения доступа [15-17]. Для ускорения работ тестировщикам и автоматизированным сценариям нередко предоставляют расширенные права, снимают ограничения, упрощают механизмы авторизации.

При переносе копий боевых данных или их фрагментов в тестовые базы не всегда применяются процедуры маскирования и анонимизации. Сервисные учётные записи, созданные “временно” для тех или иных видов испытаний, со временем превращаются в “технический долг” и продолжают существовать с непонятным набором полномочий. Всё это создаёт расхождение между тем, как система устроена в промышленной эксплуатации, и тем, как она выглядит на тестовых стендах.

Для автоматизированного тестирования эта ситуация особенно заметна. В цепочках CI/CD тысячи тестов ежедневно проверяют новые релизы, эмулируя действия разных категорий пользователей. Но если подход к управлению доступом в этих тестах остаётся неформализованным, набор сценариев зачастую отражает интуитивное представление разработчиков и тестировщиков о том, “что должно быть разрешено” и “что должно быть запрещено”. В результате одни и те же аспекты доступа проверяются много раз, а другие остаются вне поля зрения. Тесты могут успешно проходить, хотя в системе присутствуют “слепые зоны” – неясные пути доступа или сочетания ролей и атрибутов, при которых защита фактически не работает.

С другой стороны, многие современные уязвимости в веб- и сервисных приложениях связаны именно с нарушениями управления доступом: недостаточными проверками прав на уровне бизнес-логики, ошибками разделения прав между пользователями и сервисами, некорректной обработкой токенов. Международные отчёты, такие как OWASP Top 10, стабильно указывают на нарушения контроля доступа как на одну из наиболее распространённых категорий проблем. Это не только прямые обходы авторизации, но и более тонкие случаи: возможность увидеть или изменить чужие данные при определённой последовательности действий, некорректное объединение ролей, неодинаковые проверки на разных маршрутах.

В интегрированных архитектурах подобные ошибки особенно трудно обнаруживать. Один и тот же запрос может обрабатываться несколькими сервисами, каждый из которых опирается на собственный фрагмент политики доступа. Часто проверка прав выполняется не в одном месте, а в нескольких: на уровне API-шлюза, на уровне бизнес-сервиса и даже на уровне базы данных. С точки зрения разработчика это выглядит как дублирование и повышенный запас прочности, но с точки зрения тестирования и анализа становится сложнее понять, какие именно правила действуют в конкретной ситуации. Для того чтобы систематически находить ошибки такого рода, нужны не индивидуальные тесты “на конкретных пользователей”, а модель, позволяющая описать множество сценариев доступа и автоматически порождать проверочные кейсы.

Одним из подходов к такой формализации являются модели управления доступом, описывающие взаимосвязи между субъектами, объектами и операциями. Дискреционные и мандатные модели, исторически применявшиеся в операционных системах, легли в основу более современных ролевых и атрибутивных схем. Ролевая модель (RBAC) описывает систему через роли и разрешения, которые назначаются пользователям и группам. Атрибутная модель (ABAC) делает следующий шаг, позволяя формулировать правила доступа через произвольные атрибуты: тип пользователя, его принадлежность к организации, параметры устройства, время суток, среду выполнения, критичность операции и т.д. Для реализации таких политик используются как коммерческие решения, так и открытые механизмы, включающие языки описания правил и движки принятия решений.

В современных веб- и мобильных приложениях, а также при взаимодействии сервисов между собой, широко применяются протоколы OAuth 2.0 и OpenID Connect. Они определяют, каким образом клиент получает токен доступа, как сервер ресурсов проверяет этот токен и решает, какие операции разрешены. В крупных организациях эти протоколы сочетаются с каталогами пользователей, системами единого входа и внутренними моделями ролей и атрибутов. На уровне кода приложений авторизация реализуется через библиотеки и middleware, которые интерпретируют токены и принимают решения о доступе к конечным точкам API. Всё это образует сложную экосистему, в которой ошибки могут возникать на разных уровнях: от некорректной регистрации клиента до неверной проверки атрибутов в одном из микросервисов.

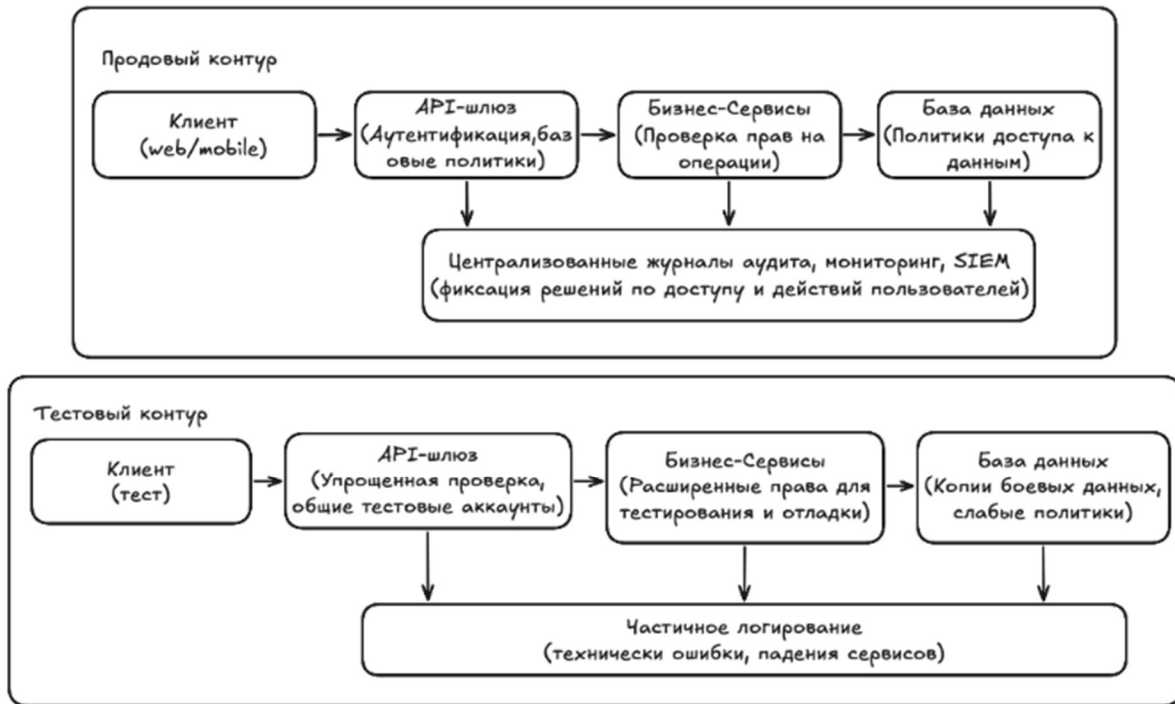


Рис. 3. Примеры распределения политик доступа между компонентами системы

На рисунке 3 приведён пример распределения функций управления доступом между компонентами интегрированной системы. Часть правил реализована в сервере авторизации, часть - в API-шлюзе, часть - в приложениях, а часть – в базе данных (через механизмы представлений и политик на уровне строк). Тестовая среда при этом может использовать упрощённый набор ролей и токенов, отличающихся от боевых, что создаёт расхождение между тем, что проверяют тесты, и тем, как система реально обрабатывает запросы пользователей.

Чтобы свести такие расхождения к минимуму, необходим подход, при котором управление доступом рассматривается не как набор разрозненных настроек, а как единую модель, отражённую и в промышленной, и в тестовой среде. Для этого требуется, во-первых, описать требования к доступу в интегрированных архитектурах с учётом разных типов пользователей, сервисов и контуров. Во-вторых, сопоставить эти требования с существующими моделями и алгоритмами управления доступом: ролевыми, атрибутными, контекстными. И в-третьих, на основе выбранной модели построить алгоритм, который позволит систематически получать тестовые сценарии, покрывающие существенные комбинации ролей, атрибутов и ресурсов, возможно использовать алгоритмы, рассмотренные в работах [18, 19].

Практическая постановка этой задачи включает несколько аспектов. Необходимо определить, какие именно параметры влияют на решение о доступе в конкретной системе: принадлежность к организации, статус учётной записи, контур (тестовый, промышленный), тип выполняемой операции, чувствительность данных. Далее нужно описать их в виде формальной модели, на основе которой алгоритм будет генерировать наборы входных данных: пользователей с разными ролями и атрибутами, запросы к различным ресурсам, последовательности действий. На этой основе формируется подсистема тестирования, которая, с одной стороны, реализует подключение к реальным сервисам и окружениям, а с другой – позволяет гибко настраивать набор сценариев с учётом интересующих комбинаций параметров доступа.

Такую подсистему можно встроить в существующие цепочки CI/CD и использовать при каждом изменении конфигурации доступа или логики авторизации. При добавлении новых ролей, сервисов или операций, связанных с доступом, алгоритм порождает дополнительные тестовые сценарии, которые автоматически выполняются на тестовом стенде. При этом фиксируются не только успешные и неуспешные попытки доступа, но и структура самих сценариев, что облегчает анализ покрытия и поиск “дыр” в политике. В отличие от классического подхода, основанного на единичных ручных проверках, такой способ обеспечивает более систематичный охват состояний системы, связанных с доступом.

Стоит отметить, что описанная задача находится на пересечении нескольких направлений. С одной стороны, она связана с информационной безопасностью, поскольку затрагивает управление правами

доступа и защиту данных [20-22]. С другой стороны, она тесно связана с инженерией качества, организацией процессов тестирования, архитектурой интегрированных систем и управлением конфигурациями. Речь идёт не о построении общей системы защиты предприятия, а о том, чтобы сделать доступ управляемым, предсказуемым и воспроизводимым в конкретном контексте: при интеграции сервисов и проведении испытаний.

На уровне исследований такая постановка открывает возможность оценивать и сравнивать разные алгоритмы управления доступом не только по формальным критериям (выразительность, сложность реализации), но и по тому, насколько хорошо они поддаются тестированию и автоматической проверке. Одни модели естественным образом допускают генерацию сценариев по атрибутам, другие - требуют дополнительных преобразований и допущений. Для интегрированных сервисных архитектур, где количество комбинаций ролей, атрибутов и ресурсов велико, этот аспект становится особенно заметным: от того, как именно построена модель доступа, зависит, насколько реалистично обеспечить её устойчивую проверку на практике.

Заключение

Таким образом, интегрированные сервисные архитектуры с множеством окружений и активным использованием автоматизированного тестирования формируют удобную площадку для исследования алгоритмов управления доступом и разработки специализированных подсистем тестирования. Набор характеристик таких систем – распределённость, большое число взаимодействующих компонентов, сложные сценарии доступа, наличие нескольких контуров эксплуатации - позволяет сформулировать и изучить алгоритмы, которые одновременно учитывают требования к разделению прав и поддерживают возможность систематической проверки через тестовые сценарии и применение средств компьютерного зрения [23-30]. Разработка модели политик доступа, адаптированной к этим условиям, и подсистемы безопасного тестирования на её основе даёт возможность по-новому взглянуть на управление доступом не только как на средство защиты, но и как на элемент архитектуры, тесно встроенный в процессы разработки и обеспечения качества программных систем.

Литература

1. *Гадасин Д. В., Шведов А. В.* Проблемы интеграции концепции "Интернет вещей" и облачных вычислений // Технологии информационного общества : Материалы XIII Международной отраслевой научно-технической конференции, Москва, 20–21 марта 2019 года. Т. 2. М.: Издательский дом Медиа Паблицер, 2019. С. 22-23. EDN MEQRFA.
2. *Gadassin D. V., Shvedov A. V., Klygina O. G.* Organization of Interaction Between the Concept of Fog Computing and Segment Routing for the Provision of IoT Services in Smart Grid Networks // Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems. 2022. Vol. 5, No. 1, pp. 141-146. EDN UQSHRH.
3. *Гадасин Д. В., Шведов А. В., Алексеева Е. А.* Информационная энтропия в стохастических сетях связи // Телекоммуникационные и вычислительные системы 2020 : Труды международной научно-технической конференции, Москва, 14-17 декабря 2020 года / Московский технический университет связи и информатики. М.: Горячая линия – Телеком, 2020. С. 108-116. EDN IOGLQH.
4. *Gadassin D. V., Shvedov A. V., Yudin A. A.* Clustering methods in large-scale systems // Synchroninfo Journal. 2020. Vol. 6, No. 5, pp. 21-24. DOI 10.36724/2664-066x-2020-6-5-21-24. EDN XHNSYV.
5. *Gadassin D. V., Shvedov A. V., Koltsova A. V.* Cluster model for edge computing // 2020 International Conference on Engineering Management of Communication and Technology, EMCTECH 2020: Proceedings, Vienna, 20-22 октября 2020 года. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 9261538. DOI 10.1109/EMCTECH49634.2020.9261538. EDN FGDLSA.
6. *Gadassin D. V., Koltsova A. V., Gadassin D. D.* Algorithm for Building a Cluster for Implementing the 'Memory as a Service' Service in the IoT Concept // 2021 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, Conference Proceedings, Moscow, 16-18 марта 2021 года. Moscow, 2021. P. 9416112. DOI 10.1109/IEEECONF51389.2021.9416112. EDN VRPCFG.
7. *Shvedov A. V., Gadassin D. V., Pak E. V.* Application of the Backman Model for the Distribution of Traffic Flows in Networks with Segment Routing // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 – Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744344. EDN RBMTBQ.
8. *Гадасин, Д. В., Смальков Н. А., Кузин И. А.* Использование метода роя частиц для балансировки нагрузки в сетях Интернета вещей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2022. Т. 13, № 2. С. 17-23. EDN LIUWNT.

9. *Гадасин Д. В., Шведов А. В.* Применение транспортной задачи для балансировки нагрузки в условиях нечеткости исходных данных // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 1. С. 13-20. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-1-13-20. EDN WKNPIX.
10. *Sandhu R.S., Coyne E.J., Feinstein H.L., Youman C.E.* Role-Based Access Control Models // Computer. 1996. Vol. 29, No. 2, pp. 38-47.
11. *Ferraiolo D.F., Kuhn D.R., Chandramouli R.* Role-Based Access Control. Artech House, 2007.
12. *Hardt D.* The OAuth 2.0 Authorization Framework. RFC 6749. IETF, 2012. URL: <https://data-tracker.ietf.org/doc/html/rfc6749>
13. *Гадасин Д. В., Пак Е. В., Коровушкина В. М., Мелькова Е. К.* Предобработка текстовой информации на основе термов естественного языка // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2022. Т. 12, № 1. С. 4-11. EDN PDGAVP.
14. *Золотарева П. Ю., Гадасин Д. В., Маклачков К. А.* Методы обработки информации в распределенных информационных системах // Тенденции развития Интернет и цифровой экономики : Труды VI Международной научно-практической конференции, Симферополь-Алушта, 01-03 июня 2023 года. Симферополь: ИП Зуева, 2023. С. 187-189. EDN LGONZK.
15. *Gadasin, D. V., Shvedov A. V., Vakurin I. S.* Determination of Semantic Proximity of Natural Language Terms for Subsequent Neural Network Training // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 – Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744290. EDN LASMDY.
16. *Zolotukhin P. A., Melkova E. K., Gadasin D. V., Korovushkina V. M.* Using Intelligent Testing as a Tool to Improve the Quality of Transport Information Systems // 2022 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2022 – Conference Proceedings, Moscow, 15-17 марта 2022 года. Moscow, 2022. DOI 10.1109/IEEECONF53456.2022.9744348. EDN NOMJLX.
17. *Шведов А. В., Гадасин Д. В., Коровушкина В. М., Мелькова Е. К.* Интеллектуальное тестирование как способ повышения качества информационной системы // REDS: Телекоммуникационные устройства и системы. 2022. Т. 12, № 2. С. 43-52. EDN GOLZGE.
18. *Гадасин Д. В.* Построение бинарного дерева минимальной цены // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 11. С. 38-44. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-11-38-44. EDN GMCEWG.
19. *Гадасин Д. В., Шведов А. В., Мелькова Е. К.* Структурирование данных исходя из центра масс // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики : Труды XXI Международной научно-практической конференции, Симферополь-Гурзуф, 20-22 октября 2022 года. Симферополь: Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, 2022. С. 266-268. EDN RFCST.
20. *Пономарев А. А., Шевелев С. В.* Информационная безопасность в сетях Интернета вещей // Вестник связи. 2019. № 9. С. 36-39. EDN SSFHBV.
21. OWASP Top 10:2021 – The Ten Most Critical Web Application Security Risks. URL: <https://owasp.org/Top10>
22. *Бем М.А., Ющук Е.В.* Управление доступом в распределённых информационных системах // Информационная безопасность. 2019. № 2. С. 15-23.
23. *Gadasin D. V., Shvedov A. V., Kuzin I. A.* Reconstruction of a Three-Dimensional Scene from its Projections in Computer Vision Systems // 2021 Intelligent Technologies and Electronic Devices in Vehicle and Road Transport Complex, TIRVED 2021 – Conference Proceedings, Moscow, 11-12 ноября 2021 года. Moscow, 2021. DOI 10.1109/TIRVED53476.2021.9639161. EDN CKSNPA.
24. *Gadasin D. V., Shvedov A. V., Kuzin I. A.* A model for representing the color and depth metric characteristics of objects in an image // 2021 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications, SYNCHROINFO 2021 – Conference Proceedings, Svetlogorsk, Kaliningrad Region, 30 июня – 02 июля 2021 года. Svetlogorsk, Kaliningrad Region, 2021. P. 9488349. DOI 10.1109/SYNCHROINFO51390.2021.9488349. EDN YAYZVP.
25. *Fowler M., Lewis J.* Microservices: a definition of this new architectural term. URL: <https://martinfowler.com/articles/microservices.html>
26. *Гадасин Д. В., Шведов А. В., Кузин И. А.* Трёхмерная реконструкция объекта по одному изображению с использованием глубоких свёрточных нейронных сетей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Т. 16, № 7. С. 29-35. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-7-29-35. EDN YTLCNW.
27. *Shvedov A. V., Gadasin D. V., Alyoshintsev A. V.* Segment routing in data transmission networks // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2022. Vol. 16, No. 5, pp. 56-62. DOI 10.36724/2072-8735-2022-16-5-56-62. EDN VAYLJQ.
28. *Alyoshintsev A. V., Gadasin D. V., Vakurin D. S., Chelyshkov P. D.* Methods for evaluating the noise immunity of modems // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Vol. 19, No. 9, pp. 50-58. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-9-50-58. EDN TGKCCQD.
29. *Гадасин Д. В.* Способ определения основных узлов сети для анализа ее состояния // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19, № 12. С. 16-24. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-12-16-24. EDN FGAATI.
30. *Мелькова Е. К., Шведов А. В., Трemasова Л. А., Гадасин Д. В.* Организация кластера исходя из функции принадлежности // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2023. Т. 14, № 1. С. 30-39. EDN CNVIJU.

ФУНКЦИОНАЛЬНО-РЕЛЯЦИОННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДАЖАМИ АВИАБИЛЕТОВ ПАО «УРАЛЬСКИЕ АВИАЛИНИИ»

Ковтун Игорь Иванович

*Московский технический университет связи и информатики,
к.т.н., доцент, доцент кафедры «Системное программирование», Москва, Россия,
i.i.kovtun@mtuci.ru*

Сесицкий Иван Дмитриевич

*Московский технический университет связи и информатики, студент, Москва, Россия,
iv.sesitsky@yandex.ru
<mailto:yana-kozlova-04@inbox.ru>*

Титов Дмитрий Сергеевич

*Московский технический университет связи и информатики, студент, Москва, Россия,
sol2033@yandex.ru*

Аннотация

Рассмотрен подход к проектированию автоматизированной системы продаж авиабилетов регионального перевозчика. Предложена методика интеграции функционального моделирования на основе графической нотации IDEF0 и реляционной модели данных, позволяющая устранить недостатки каждого из вышеуказанных подходов. На примере ПАО «Уральские авиалинии» разработана структура базы данных и код на языке SQL.

Ключевые слова:

авиационная компания, автоматизированная система, обследование на предмет автоматизации, реляционная модель, функциональная модель IDEF0

Введение

В условиях санкций в отношении Российской Федерации, которые привели к ограничению доступа к международным рынкам капитала, российские авиакомпании вынуждены максимально эффективно использовать имеющиеся у них ресурсы. Региональные авиаперевозчики, не обладающие значительными финансовыми резервами, должны продумывать стратегии для повышения эффективности работы при минимизации затрат капитала [1]. Одним из перспективных направлений для организаций в данной сфере является внедрение технологий, которые позволяют увеличить выручку без дополнительных инвестиций в расширение парка воздушных судов.

Конкуренция на рынке авиаперевозок вынуждает компании искать способы оптимизации расходов и повышения доходов. Традиционные методы с фиксированными ценами и ручным оформлением документов работают в ряде случаев неэффективно и приводят к снижению прибыли. Внедрение цифровых технологий в такой ситуации становится необходимым условием для сохранения конкурентоспособности.

Как правило, проектирование любой информационной системы начинается с анализа деятельности предприятия и движения информационных, материальных и финансовых потоков между его структурными подразделениями. При этом, для описания структуры данных традиционно используют реляционную модель данных, предложенную доктором Эдгаром Коддом в 1970 году [2, 3]. Данный метод основан на представлении информации в виде реляционных таблиц, где каждая таблица описывает объекты определенного типа. Реляционная модель данных хорошо показывает, какие данные необходимо хранить, но ее главным недостатком является тот факт, что формальное отображение некоторого объекта автоматизации в виде набора таблиц и связей между ними не отображает, как правило, функциональную архитектуру предприятия.

Наличие указанного недостатка привело к появлению альтернативных методов анализа, которые ориентированы не на сами данные, а на процессы их обработки. Широкую известность из таких методов получила методология и одноименная графическая нотация IDEF0, разработанная в 1980-х годах в США [4, 5]. Данный инструмент позволяет представить в графическом виде деятельность организации как совокупность функций с некоторой последовательностью их выполнения, ресурсами и

результатами данных функций. Недостатком IDEF0 является отсутствие детальной информации о данных, которые должны обрабатываться проектируемой автоматизированной системой.

Описанные достоинства и недостатки каждой методологии определяют цель текущего исследования – на примере ПАО «Уральские авиалинии» создание методики анализа информационных, производственных и финансовых потоков авиакомпании, соединяющей в себе преимущества каждого из указанных ранее подходов. Методика должна учитывать специфику отрасли и привести к достижению наибольшей экономической эффективности от внедрения автоматизированной системы управления.

Для достижения вышеуказанной цели необходимо решить ряд взаимосвязанных задач:

1. Моделирование процессов деятельности авиаперевозчика с применением методологии IDEF0.
2. Применение реляционной модели данных для моделирования стандартных потоков данных авиакомпании.
3. Интеграция полученной реляционной и функциональной моделей в единое взаимоувязанное решение.
4. Подведение итогов проведенной исследовательской работы и определение направлений дальнейших исследований.

1. Моделирование процессов деятельности авиаперевозчика с применением методологии IDEF0

Разработана функциональная модель AS-IS в нотации IDEF0 для формализации состояния организации работы регионального перевозчика до внедрения автоматизированной системы [6]. Данная модель позволяет показать, как в текущий момент происходит продажа билетов в ПАО «Уральские авиалинии», выявить основные потоки информации и определить участников в данном процессе. Графическое представление системы продаж авиабилетов представлено на рис. 1. На диаграмме представлены входящие и исходящие потоки, которые отражают обрабатываемые документы и задействованные компанией ресурсы.

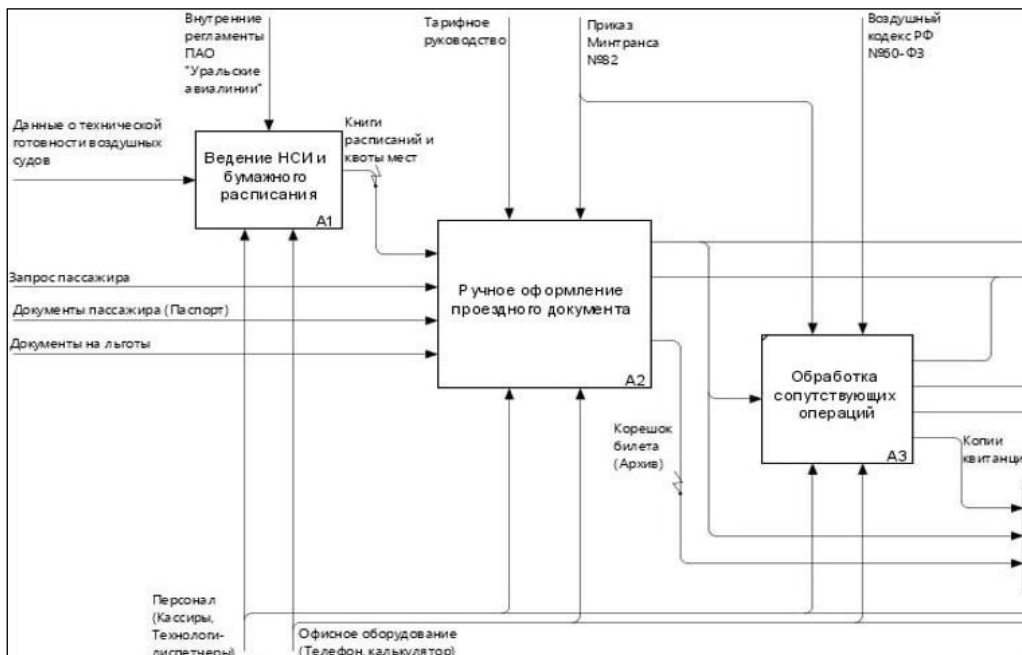


Рис. 1. Фрагмент процесса деятельности отечественной авиационной компании ПАО «Уральские авиалинии» в нотации IDEF0

На основе входных потоков показано, что процесс инициируется запросом пассажира. Одновременно в систему поступают документы пассажира, которые необходимы для идентификации его личности. При наличии права на применение льготных тарифов пассажир предоставляет подтверждающие документы: удостоверения ветерана, пенсионера, студенческий билет и т.п.

Отдельным входным потоком являются данные о технической готовности воздушных судов, поступающие из авиационно-технической базы и определяющие возможность формирования расписания рейсов и планирования использования парка.

Процесс продажи авиабилетов регламентируется следующими нормативными правовыми актами и нормативными документами:

- Федеральный закон от 19.03.1997 № 60-ФЗ «Воздушный кодекс Российской Федерации»;
- Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 28.06.2007 № 82 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей»;
- Федеральный закон от 08.01.1998 № 10-ФЗ «О государственном регулировании развития авиации»;
- тарифное руководство ПАО «Уральские авиалинии»;
- внутренние регламенты и стандарты обслуживания ПАО «Уральские авиалинии».

Выполнение процесса обеспечивается работой следующего персонала – непосредственно с пассажиром взаимодействует агент по продаже билетов (кассир), который принимает запрос, проверяет документы гражданина, производит расчет стоимости и оформляет проездной документ. Технолог-диспетчер занимается планированием расписания рейсов и распределением воздушных судов. Учет финансовых операций организации ведет сотрудник бухгалтерии, который обрабатывает данные о денежных поступлениях от продажи авиабилетов.

Результатом процесса продажи билета является комплект документов в бумажном виде. Основным проездным документом является бумажный авиабилет с информацией о рейсе и пассажире. При наличии багажа клиент авиаперевозчика также оформляет багажную квитанцию. Квитанция сборов при необходимости фиксирует дополнительные платежи, а факт оплаты подтверждается кассовым чеком. Вся информация об операциях хранится в виде бумажной отчетности для последующего анализа.

На основе диаграммы AS-IS выявлены существенные недостатки текущего процесса продажи билетов:

- применение фиксированных цен на билеты не позволяет оперативно реагировать на спрос, что приводит к ситуациям, когда на популярные рейсы билеты могут быть проданы задолго до полета и по сниженной цене, а на менее востребованных направлениях рейс отправляется с непроданными местами в виду высокой стоимости;
- из-за отсутствия возможности управления превышением бронирования (так называемый, овербукинг), авиаперевозчик не имеет возможности компенсировать прогнозируемый процент пассажиров, отказавшихся от рейса незадолго до него;
- значительная доля рабочего времени кассиров тратится на ручное заполнение документов и поиск информации в бумажных справочниках, что может привести к ошибкам со стороны сотрудника и замедлить обслуживание клиента;
- отсутствие централизованного электронного хранилища затрудняет формирование отчетности и усложняет аналитику.

Для устранения выявленных в модели AS-IS недостатков существующей системы, была разработана модель TO-BE, фрагмент которой представлен на рис. 2.

Наиболее значимым изменением является внедрение автоматизированной системы управления продажами, работающей в реальном времени в едином цифровом пространстве для всех участников процесса. В предложенном решении предполагается создание платформы, посредством которой пассажиры могут самостоятельно осуществлять поиск рейсов, сравнивать тарифы и бронировать места без посещения кассы авиакомпании или обращения к сотрудникам авиаперевозчика. Система получает доступ к актуальному расписанию рейсов на основе данных о готовности воздушных судов. Пассажир вводит персональные данные непосредственно в автоматизированную систему с валидацией данных, что исключает возможность ошибочного переноса информации.

Система динамического ценообразования анализирует текущую ситуацию с продажами и корректирует стоимость билетов для достижения наилучшего соотношения продаж и выручки. Система управления овербукингом на основе накопленной статистики рассчитывает оптимальное количество дополнительных бронирований, превышающих максимально допустимую вместимость салона с минимальным риском отказа в посадке пассажиров.

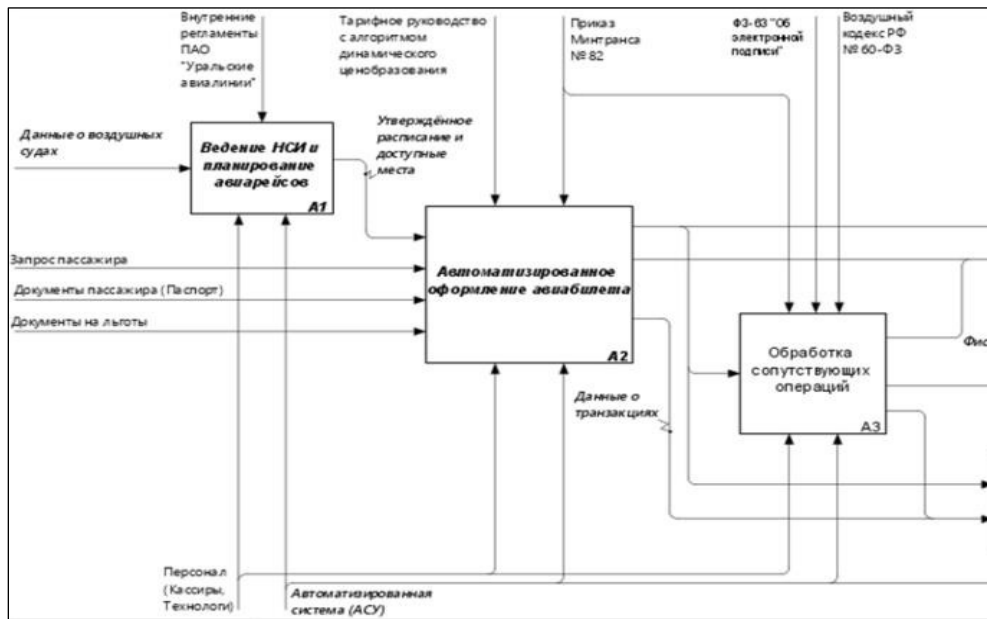


Рис. 2. Фрагмент диаграммы предложенного процесса деятельности регионального авиаперевозчика

Результатами работы являются электронные документы пассажира и записи в базе данных. Вместо бумажного билета клиент получает электронную версию документа с полной информацией о рейсе и расположении в салоне воздушного судна. Багажная квитанция и квитанция разных сборов аналогично оформляются в электронном виде и связаны в базе данных с билетом пассажира. Все данные о транзакциях внутри авиакомпании сохраняются в централизованной базе данных, что облегчает их использование для аналитических отчетов.

Анализ процессов регионального авиаперевозчика позволил сформулировать типовые информационные запросы, которые целесообразно реализовать в автоматизированной системе:

- вывод данных о загрузке определенного рейса с разбивкой по классам обслуживания;
- формирование списка пассажиров, зарегистрированных на конкретный рейс;
- расчет выручки от продажи билетов за указанный период с группировкой по направлениям и классам обслуживания;
- анализ динамики изменения цен на билеты на заданном направлении в зависимости от времени вылета;
- формирование отчета о пассажирах, не явившихся на рейс, для дальнейшей корректировки параметров системы управления овербукингом.

2. Применение реляционной модели для моделирования стандартных потоков данных организации

Параллельно с функциональным моделированием разработана структура данных процессов продажи авиабилетов. На первом шаге выявлены основные объекты, которые участвуют в работе системы, и установлены связи между ними.

В ходе изучения деятельности регионального авиаперевозчика определены следующие основные объекты: Пассажир, Билет, Рейс, Воздушное судно, Аэропорт, Авиакомпания, Сотрудник, Багажная квитанция и Квитанция дополнительных услуг. Связи между данными объектами отображены на рис. 3.

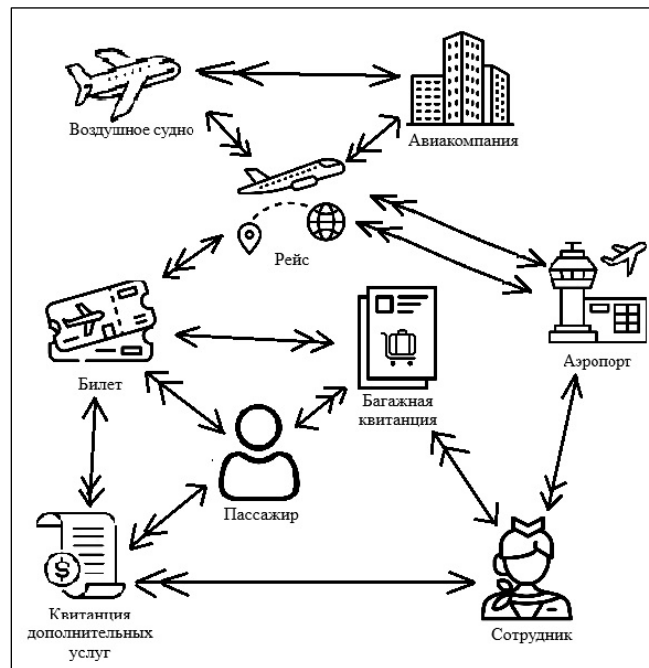


Рис. 3. Логическая модель данных процессов продажи авиабилетов

На основе логической модели спроектирована физическая схема базы данных, фрагмент которой представлен на рис. 4.

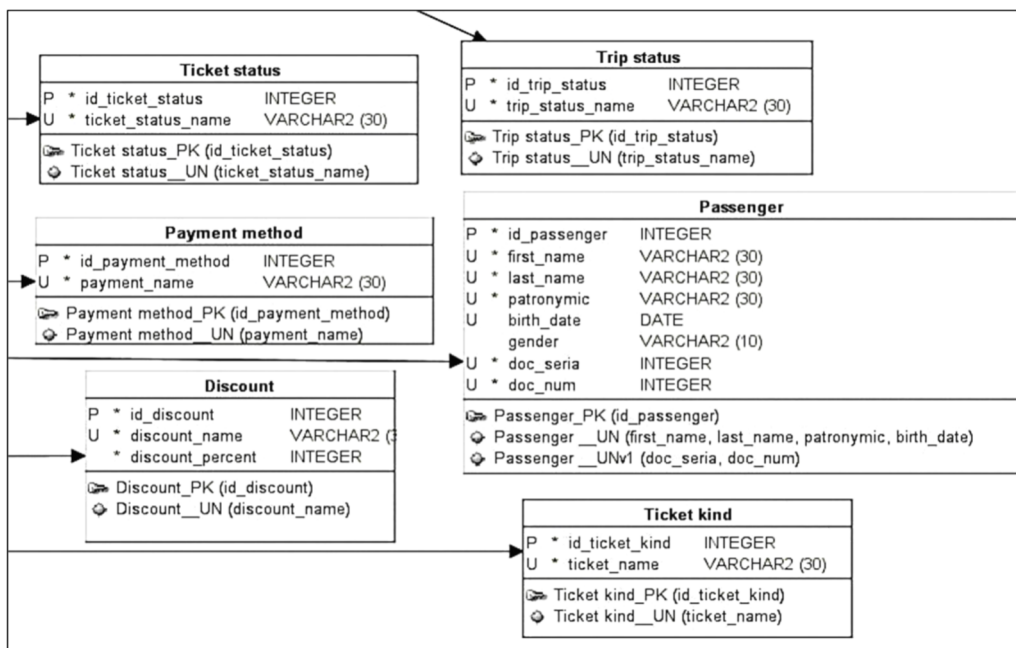


Рис. 4. Фрагмент физической модели данных системы продажи авиабилетов

При проектировании физической модели требовалось задать типы данных для каждого поля таблиц. Рассмотрим две наиболее значимые таблицы системы – T_passenger (Пассажиры) и T_discount (Скидки). Их структура представлена в таблицах 1, 2 соответственно.

Таблица 1

Структура таблицы T_passenger

Название поля	Тип данных	Пояснение	Ключи
F_id_passenger	INTEGER	Первичный ключ	Primary Key
F_last_name	VARCHAR2	Фамилия	AK1.1
F_first_name	VARCHAR2	Имя	AK1.2
F_patronymic	VARCHAR2	Отчество	AK1.3
F_birthdate	DATE	Дата рождения	AK1.4
F_gender	VARCHAR2	Пол	
F_doc_seria	INTEGER	Серия паспорта	AK2.1
F_doc_num	INTEGER	Номер паспорта	AK2.2

Таблица T_passenger содержит персональные данные пассажиров, которые необходимы для идентификации личности при регистрации на рейс и оформлении билета. Поля F_passport_series и F_passport_number вместе с ФИО (F_last_name, F_first_name, F_patronymic) и датой рождения (F_birthdate) формируют альтернативные ключи, что позволяет идентифицировать каждого пассажира в системе.

Таблица 2

Структура таблицы T_discount

Название поля	Тип данных	Пояснение	Ключи
F_id_discount	INTEGER	Первичный ключ	Primary Key
F_discount_name	VARCHAR2	Название скидки	AK1.1
F_discount_percent	INTEGER	Размер скидки	

В таблице T_discount хранится информация о различных видах скидок, которые могут применяться при расчете стоимости билета. Поле F_discount_name является альтернативным ключом, так как название каждой скидки должно быть уникальным для корректной идентификации льготы в системе.

3. Соединение реляционной и функциональной моделей в единое интегрированное решение

Функциональный подход даёт четкое понимание того, как протекают процессы авиакомпании, складываются последовательности технологических операций, происходит обработка проездных документов. Но функциональные диаграммы не показывают детальную структуру данных и места их хранения. В противовес этому, реляционная модель хорошо демонстрирует структуру данных и связи таблиц, но, при этом, теряется общая картина бизнес-процессов.

Для получения полного описания системы возникла необходимость в объединении вышеуказанных подходов. С этой целью применяется язык SQL, позволяющий описывать как структуру данных, так и операции над ними. Сначала создаются таблицы базы данных, соответствующие физической модели, представленной на рис. 4, затем формулируются запросы, реализующие функции системы, выявленные в процессе анализа диаграмм IDEF0 и представленные на рис. 2. При этом, заранее предопределенные слоты SQL-фреймов, полученных по результатам анализа функциональной модели, заполняются данными, полученными в ходе анализа реляционной модели [7].

Код создания таблиц системы приведён в Листинге 1, а запросов к базе данных – в Листинге 2.

Листинг 1

Фрагмент программного кода формирования таблиц

```
CREATE TABLE t_passenger (
  f_passenger_id NUMBER GENERATED ALWAYS AS
  IDENTITY,
  f_last_name VARCHAR2(50) NOT NULL,
  f_first_name VARCHAR2(50) NOT NULL,
  f_patronymic VARCHAR2(50),
  f_birthdate DATE NOT NULL,
  f_gender VARCHAR2(10),
```

```

f_passport_series VARCHAR2(4) NOT NULL,
f_passport_number VARCHAR2(6) NOT NULL,
CONSTRAINT pk_passenger PRIMARY KEY
(f_passenger_id),
CONSTRAINT ak1_passenger
UNIQUE(f_last_name, f_first_name,
f_patronymic, f_birthdate),
CONSTRAINT ak2_passenger
UNIQUE(f_passport_series,
f_passport_number)
);

CREATE TABLE t_discount (
f_discount_id NUMBER GENERATED ALWAYS AS
IDENTITY,
f_discount_name VARCHAR2(100) NOT NULL,
f_discount_percent NUMBER(5,2) NOT NULL,
CONSTRAINT pk_discount PRIMARY KEY
(f_discount_id),
CONSTRAINT ak1_discount
UNIQUE(f_discount_name)
);

```

Приведённый код демонстрирует создание двух базовых таблиц системы. В таблице T_passenger применяются составные альтернативные ключи для обеспечения уникальности записей как по сочетанию ФИО и даты рождения, так и по паспортным данным. Таблица T_discount организована таким образом, чтобы исключить дублирование названий скидков и корректно рассчитывать итоговую стоимость билета.

Листинг 2

Фрагмент программного кода запросов, представленных в параграфе 1

1. Отображение процента загрузки рейса U6-123, вылетающего 18.05.2025, с указанием количества проданных билетов по каждому классу обслуживания

```

SELECT
f.f_flight_number,
f.f_departure_time,
sc.f_class_name,
COUNT(t.f_ticket_id) AS sold_tickets
FROM t_flight f
LEFT JOIN t_ticket t ON f.f_flight_id =
t.f_flight_id
LEFT JOIN t_service_class sc ON t.f_class_id =
sc.f_class_id
WHERE f.f_flight_number = 'U6-123'
AND TRUNC(f.f_departure_time) =
TO_DATE('18.05.2025', 'DD.MM.YYYY')
AND t.f_status_id IN (1, 2)
GROUP BY f.f_flight_number,
f.f_departure_time, sc.f_class_name
ORDER BY sc.f_class_name;

```

2. Формирование списка пассажиров с их персональными данными для рейса на заданную дату с сортировкой по фамилии

```

SELECT
p.f_last_name,
p.f_first_name,
p.f_patronymic,
p.f_birthdate,
p.f_passport_series,
p.f_passport_number,

```

```

t.f_seat_number,
sc.f_class_name
FROM t_ticket t
JOIN t_passenger p ON t.f_passenger_id =
p.f_passenger_id
JOIN t_flight f ON t.f_flight_id =
f.f_flight_id
JOIN t_service_class sc ON t.f_class_id =
sc.f_class_id
WHERE TRUNC(f.f_departure_time) =
TO_DATE('18.05.2025', 'DD.MM.YYYY')
AND t.f_status_id = 2
ORDER BY p.f_last_name, p.f_first_name;

```

3. Расчет общей выручки и средней стоимости билета по каждому направлению полета за январь 2024 года

```

SELECT
c_dep.f_city_name AS city_from,
c_arr.f_city_name AS city_to,
COUNT(t.f_ticket_id) AS tickets_count,
SUM(t.f_final_price) AS total_revenue,
AVG(t.f_final_price) AS avg_price
FROM t_ticket t
JOIN t_flight f ON t.f_flight_id =
f.f_flight_id
JOIN t_airport ap_dep ON
f.f_departure_airport_id =
ap_dep.f_airport_id
JOIN t_airport ap_arr ON
f.f_arrival_airport_id =
ap_arr.f_airport_id
JOIN t_city c_dep ON ap_dep.f_city_id =
c_dep.f_city_id
JOIN t_city c_arr ON ap_arr.f_city_id =
c_arr.f_city_id
WHERE t.f_issue_date >= TO_DATE('01.01.2024',
'DD.MM.YYYY') AND t.f_issue_date <
TO_DATE('01.02.2024', 'DD.MM.YYYY')
AND t.f_status_id IN (1, 2)
GROUP BY c_dep.f_city_name, c_arr.f_city_name
ORDER BY total_revenue DESC;

```

Представленные запросы реализуют основные аналитические функции системы продажи авиабилетов. Первый запрос позволяет диспетчеру рейсов оперативно контролировать заполненность салона и принимать решения о необходимости корректировки цен или запуска дополнительных маркетинговых акций. Второй и третий запросы обеспечивают формирование отчетности для руководства авиакомпании и помогают анализировать эффективность работы на различных направлениях.

Заключение

В ходе проведенного исследования получены следующие результаты:

1. Проанализирован порядок управления продажами авиабилетов регионального авиаперевозчика, а также его нормативно-правовая база. Выявлены основные недостатки в управлении процессом продажи авиабилетов, связанные с статическим ценообразованием, отсутствием автоматизации управления овербукингом, ручным управлением документов и отсутствием централизованной системы хранения документов. Предложен вариант решения задачи по минимизации расходов и автоматизации деятельности авиаперевозчика.

2. Выбрано наиболее оптимальное программное обеспечение для реализации автоматизированной системы. В качестве СУБД было решено выбрать продукт от компании Oracle, который

обеспечивает производительность и надежность созданной системы. Построены логическая и физическая структура данных процессов, диаграммы графической нотации IDEF0 AS-IS и TO-BE.

3. Разработан код на языке SQL формирования таблиц и запросов к ним. Программный код обеспечивает полную реализацию всех требований к системе, включая анализ рейсов, пассажиров и выручки.

Созданные решения рекомендованы для практического применения в работе ПАО «Уральские авиалинии». Ожидается, что предложенный подход позволит существенно улучшить экономические показатели авиаперевозчика и сократить расходы, а также более эффективно использовать имеющиеся ресурсы [8].

Литература

1. *Данэн Ли*. Международный правовой анализ реализации санкций и контрсанкций в области гражданской авиации в условиях проведения СВО // *Юридическая наука*. 2023. № 2. С. 127-132.

2. *Codd E.F.* A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. CACM 13, No. 6 (June 1970). Republished in Milestones of Research - Selected Papers 1958-1982 (CACM 25th Anniversary Issue), CACM 26, No. 1 (January 1983).

3. *Полицук Ю.В.* Базы данных и их безопасность. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2025. 210 с.

4. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183, 1993 December 21.

5. *Ковтун И.И.* Проблемы моделирования проектных решений в процессе проектирования автоматизированных информационных систем // *Информатизация и связь*. 2012. № 8. С. 145-151.

6. *Ковтун И.И., Романенко Г.С.* Применение функционально-реляционной методологии в процессе проектирования автоматизированных информационных систем органов исполнительной власти // *Информатизация и связь*. 2014. № 4. С. 65-72.

7. *Воронова Л.И., Воронов В.И.* Big data. Методы и средства анализа. Учебное пособие. М.: МТУСИ, 2016. 33 с.

8. *Ковтун И.И.* Функциональное моделирование в процессе технико-экономического обоснования программных проектов // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2017. № 11. С. 61-66.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ И МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СБОРА ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И API

Фатхулин Тимур Джалилевич

*Московский технический университет связи и информатики,
доцент кафедры ИАД, к.т.н., Москва, Россия*
t.d.fatkhulin@mtuci.ru

Кот Игорь Андреевич

*Московский технический университет связи и информатики,
студент группы МБД2431, Москва, Россия*

Рулев Денис Владиславович

*Московский технический университет связи и информатики,
студент группы БСТ2201, Москва, Россия*

Аннотация

В статье рассматриваются способы автоматизированного сбора информации на основе нейронных сетей и API. Цель работы – определить наиболее эффективные технологии и методы сбора информации в строительной отрасли. Актуальность работы обусловлена тем, что современная строительная отрасль функционирует в условиях информационной перегрузки. Для эффективного управления проектами, ресурсами и рисками необходима оперативная консолидация данных из множества разнородных источников.

Ключевые слова:

строительная отрасль, нейронные сети, NLP, API-интеграция, web-скрапинг, ETL, RoBERTa, CRM Бит-рикс24

Введение

Современная строительная отрасль функционирует в условиях информационной перегрузки. Для эффективного управления проектами, ресурсами и рисками необходима оперативная консолидация данных из множества разнородных источников. Условно эти источники можно разделить на два следующих основных типа.

Официальные, частично структурированные источники: государственные и коммерческие реестры строительных объектов (портал «Дом.Госуслуги», реестр Фонда развития среды, региональные геопорталы), площадки государственных и коммерческих закупок (zakupki.gov.ru, B2B-платформы), данные BIM (Building Information Modeling), нормативно-техническая документация в машиночитаемых форматах.

Неструктурированные и слабоструктурированные источники: новостные ленты, отраслевые СМИ, сообщения в мессенджерах (Telegram), посты в социальных сетях, текстовые отчёты с объектов, форумы.

Ручной сбор и актуализация информации из этих источников являются крайне трудоёмкими, медленными и подверженными ошибкам процессами. Это приводит к запаздыванию в принятии решений, упущению коммерческих возможностей и росту операционных издержек [1]. В связи с этим критически важной становится задача автоматизации сбора, структурирования и интеграции данных в существующие системы управления (CRM, ERP, BIM).

Нейронные сети, особенно в областях обработки естественного языка (NLP) и компьютерного зрения (CV), демонстрируют выдающийся потенциал для работы со вторым типом источников [2, 3]. Одновременно с этим, для работы с первым типом необходимы методы API-интеграции, парсинга и ETL (Extract, Transform, Load). Комбинация этих подходов позволяет создать комплексную систему автоматизированного информационного обеспечения.

Методы построения системы автоматизированного сбора информации

Анализ современных работ и технологических решений [4-16] позволил выделить ключевые классы методов, применимых для построения системы автоматизированного сбора информации.

1. Методы работы с официальными реестрами и структурированными данными

Данные методы ориентированы на получение верифицированной информации из доверенных источников.

API-интеграция (REST, SOAP): Прямое подключение к официальным порталам (госуслуги, закупки) для получения данных в машиночитаемых форматах (JSON, XML). Обеспечивает высокую точность, актуальность и законность сбора данных. Требует наличия открытого API и часто – авторизации [5, 8].

Веб-скрапинг (Web Scraping) и парсинг: Автоматическое извлечение данных с веб-страниц при отсутствии API. Используются библиотеки (BeautifulSoup, Scrapy) и фреймворки (Selenium для динамических страниц). Сопряжён с техническими (обход CAPTCHA, изменение структуры сайта) и юридическими рисками, требует соблюдения правил robots.txt [6].

ETL-процессы (Extract, Transform, Load): Технологии извлечения данных из источников, их преобразования (очистка, валидация, сопоставление) и загрузки в целевую систему (например, CRM или базу данных). Являются основой для построения конвейеров данных [7].

2. Методы обработки неструктурированных текстов на основе нейронных сетей

Эти методы позволяют извлекать смысл и структуру из текстовых потоков [19-30].

Модели на архитектуре Transformer (BERT, RoBERTa, GPT): Современный стандарт для задач NLP. Используются для классификации текстов (релевантен/нерелевантен), извлечения именованных сущностей (NER – объект, адрес, компания, срок), суммаризации. Способны учитывать глубокий контекст, но требуют значительных вычислительных ресурсов и дообучения на доменных данных [9, 10, 12].

Предварительная лингвистическая обработка (Preprocessing): Обязательный этап, включающий токенизацию, лемматизацию (приведение слов к нормальной форме, например, с помощью `ru morphology2`), удаление стоп-слов. Повышает качество работы моделей и снижает шум [11].

Гибридные подходы (Правила + NLP): Комбинация предварительной фильтрации по ключевым словам и стоп-словам, с последующим глубоким нейросетевым анализом. Позволяет эффективно отсеивать заведомо нерелевантный контент и экономить ресурсы [13].

3. Методы интеграции и оркестрации

Интеграция с CRM/ERP-системами: использование REST API (например, API Битрикс24) для автоматического создания задач, лидов, компаний и контактов на основе собранных данных. Позволяет замкнуть цикл автоматизации [14].

Микросервисная архитектура и очереди задач (Message Queues): позволяет построить отказоустойчивый, масштабируемый конвейер обработки данных, где каждый модуль (парсер, NLP-модель, интегратор) работает независимо [15].

Ниже приведена таблица 1, систематизирующая рассмотренные технологии.

Таблица 1

Технологии автоматизированного сбора информации

Метод / Технология	Основные решаемые задачи	Преимущества	Недостатки	Типы источников данных
API-интеграция	Автоматический сбор данных из официальных источников, обновление баз данных	Высокая точность, актуальность, легальность, структурированный формат (JSON/XML)	Зависимость от стороннего API, возможные лимиты запросов, необходимость авторизации	Официальные порталы, реестры, B2B-платформы с открытым API
Веб-скрапинг и парсинг	Извлечение данных с веб-страниц при отсутствии API	Широкий охват источников, возможность работы с любыми сайтами	Хрупкость (зависимость от верстки), юридические риски, необходимость обхода блокировок (CAPTCHA, IP)	Сайты без API, новостные порталы, форумы, соц. сети
NLP-модели (Transformer)	Классификация текста, извлечение сущностей (NER), суммаризация	Глубокое понимание контекста, высокая точность на качественных данных	Требует больших вычислительных ресурсов, необходимости в дообучении на доменных данных	Новости, соц. сети, сообщения в мессенджерах, документы PDF/DOCX

<i>Гибридные подходы (Ключевые слова + NLP)</i>	Предварительная фильтрация потока данных, снижение нагрузки на NLP-модель	Значительное повышение эффективности конвейера, отсев мусора	Требует составления и поддержки актуальных списков ключевых и стоп-слов	Любые текстовые потоки
<i>Интеграция с CRM (REST API)</i>	Автоматическое создание задач, лидов, сделок в системе управления	Замыкание цикла автоматизации, прямая интеграция в бизнес-процессы	Зависимость от API целевой системы, необходимость настройки бизнес-процессов в CRM	Структурированные данные, подготовленные шаблоны

Практическая реализация двухконтурной системы сбора информации

В ходе работы был спроектирован и реализован прототип двухконтурной системы автоматизированного сбора информации для строительной компании. Архитектура системы построена по модульному принципу и включает два независимых, но взаимодополняющих контура обработки данных.

Общая архитектура системы:

- Источники данных: Официальные реестры, сайты госзакупок, новостные ленты, Telegram-каналы.
- Контур 1 (Верифицированные данные): Модули API-интеграции и парсинга.
- Контур 2 (Новостные сигналы): Модули сбора сообщений, NLP-обработки.
- Общий модуль обработки: Дедупликация, нормализация, формирование шаблона.
- Модуль интеграции: Отправка структурированных данных в CRM Битрикс24.
- Бизнес-процесс в CRM: Автоматическое назначение задач менеджерам.

Контур 1: сбор верифицированных данных из официальных источников.

Цель: автоматическое пополнение базы данных компании актуальными и юридически значимыми сведениями о строительных объектах, тендерах и планируемых работах.

Реализация:

Для источников с открытым API (например, некоторые региональные геопорталы) разработаны клиенты на Python с использованием библиотеки requests. Скрипты по расписанию отправляют запросы, получают ответы в формате JSON/XML и извлекают целевые поля.

Для сайтов без API реализован модуль парсинга на основе BeautifulSoup4 и Selenium. Модуль обходит целевые страницы, извлекает данные по заданным CSS-селекторам или XPath-выражениям и сохраняет их в структурированном виде.

Ключевые извлекаемые сущности: Наименование_объекта, Адрес, Заказчик, Исполнитель_подрядчик, Вид_работ, Стоимость_контракта, Сроки_начала_и_окончания, Статус_объекта, Ссылка_на_документацию.

Пример: Модуль ежедневно проверяет раздел «Новые объекты» на отраслевом портале и при обнаружении записи о планируемом строительстве школы в указанном районе извлекает все перечисленные атрибуты.

Контур 2: мониторинг новостных потоков и извлечение сигналов с помощью NLP.

Цель: Раннее выявление информационных поводов, не отражённых в официальных реестрах: анонсы проектов, изменения в командовании подрядчиков, аварийные ситуации, рыночные тенденции.

Реализация:

Сбор данных: Реализован Telegram-бот с использованием библиотеки aiogram, подписанный на ряд отраслевых каналов (СМИ, подрядчики, администрации регионов). Бот пересылает все новые сообщения в очередь обработки (Redis).

Предварительная фильтрация: для снижения нагрузки на NLP-модель каждый текст проходит фильтрацию. Сообщение передаётся далее, только если оно содержит хотя бы одно ключевое слово из списка (стройка, возведен, реконструкция, подряд, тендер) и не содержит слов из стоп-листа (вакансия, курс, игра, розыгрыш).

Лингвистическая обработка: Отфильтрованные тексты проходят лемматизацию с помощью библиотеки rucypher2 для приведения слов к нормальной форме.

NLP-анализ: основной анализ выполняется дообученной моделью RoBERTa (реализация от Transformers от Hugging Face). Модель выполняет две задачи последовательно:

Бинарная классификация: оценка релевантности сообщения строительной тематике с порогом уверенности >0.85.

Извлечение именованных сущностей (NER): для релевантных сообщений модель извлекает сущности: ORGANIZATION (компании), LOCATION (адреса, районы), OBJECT (название объекта), DATE (сроки).

Пример: канал местной администрации публикует сообщение: «Глава города провёл встречу с инвестором по вопросу строительства нового логистического парка в промзоне «Южная». Бот собирает сообщение, фильтр пропускает его по слову «строительство». Модель RoBERTa классифицирует его как релевантный и извлекает сущности: OBJECT="логистический парк", LOCATION="промзона «Южная», ORGANIZATION="[инвестор]"».

Объединение контуров и интеграция с CRM

Модуль нормализации и дедупликации. Полученные из обоих контуров структурированные данные (шаблоны) поступают в общий модуль. Здесь адреса приводятся к единому формату (ФИАС), названия компаний сверяются с базой данных для исключения дублей (например, «ООО "СтройГрад"» и «СтройГрад»).

Формирование задачи для CRM. Для каждой уникальной записи формируется шаблон в формате JSON, включающий все извлечённые поля и метку о типе источника (verified_reestr для Контур 1 или news_signal для Контур 2).

Интеграция с Битрикс24. С помощью REST API Бит-рикс24 в системе автоматически создаётся новая «Задача» или «Лид». В описание задачи заносятся все собранные данные. Ключевое отличие: задачи от Контур 1 сразу назначаются менеджеру по работе с госзаказами с высоким приоритетом, а задачи от Контур 2 - менеджеру по развитию бизнеса для проработки и верификации.

Автоматизация в Битрикс24. Дополнительно в CRM настроен робот (автоматический сценарий), который при создании такой задачи автоматически проверяет наличие упомянутых компаний в базе контрагентов, создаёт при необходимости новые и привязывает задачу к соответствующей сделке или проекту.

Анализ результатов исследований

Проведённая работа по проектированию и реализации прототипа двухконтурной системы позволила получить следующие результаты и провести их анализ.

1. Результаты тестирования и эффективность

Контур 1 (API/Парсинг). Показал 100% точность в извлечении данных, соответствующих заложенным в парсер правилам. Главным ограничением стала хрупкость парсеров – изменение структуры HTML-кода целевых сайтов требовало оперативного обновления селекторов. API-интеграция оказалась значительно стабильнее и предпочтительнее.

Контур 2 (NLP). Предварительная фильтрация по ключевым словам сократила объем данных, подаваемых на ресурсоёмкую NLP-модель, на 60-70%, что существенно повысило общую производительность системы.

Дообученная модель RoBERTa показала точность классификации (F1-score) на уровне 89% на тестовой выборке размеченных строительных новостей.

Качество извлечения сущностей (NER) было высоким для сущностей ORGANIZATION (87%) и OBJECT (82%), но хуже для LOCATION (75%) из-за нестандартных формулировок адресов в новостях («возле стадиона», «в промзоне»). Требовалась дополнительная постобработка.

Синергический эффект: (Система продемонстрировала, что два контура дополняют друг друга.) Например, новостной сигнал (Контур 2) о «начале проектирования моста через реку X» появляется за несколько месяцев до официальной публикации документации в реестре (Контур 1). Это даёт компании стратегическое преимущество во времени.

2. Выявленные проблемы, риски и ограничения

Проблема «чёрного ящика» NLP-модели. Не всегда понятно, на основании чего модель приняла то или иное решение, особенно в случае ложноположительных срабатываний. Это может снижать доверие пользователей-экспертов. Необходимо внедрение методов объяснимого ИИ (XAI) [17].

Контекстуальная неоднозначность. Модель могла ошибочно классифицировать сообщения о «строительстве карьеры» (карьерный рост) или «возведении баррикад» (политические события) как релевантные. Частично решается расширением стоп-листа и дообучением на негативных примерах.

Зависимость от качества и легальности источников. Работа парсеров может нарушать условия использования некоторых сайтов. Использование официальных API и соблюдение политики robots.txt является обязательным этическим и юридическим требованием [6, 18].

Высокие начальные затраты. Требуется значительная экспертиза для сбора и разметки обучающего датасета для NLP-модели, а также для настройки и поддержки парсеров и API-клиентов.

Необходимость в гибридном подходе. Чисто нейросетевое решение без этапа предфильтрации и постобработки правилами оказалось менее эффективным и более ресурсозатратным.

3. Экономическое и операционное обоснование

Несмотря на сложность внедрения, система демонстрирует явные преимущества.

Сокращение трудозатрат: автоматизация рутинного мониторинга десятков источников экономит до 15-20 человеко-часов в неделю.

Ускорение реакции: время от появления информации в источнике до постановки задачи менеджеру сократилось с нескольких часов/дней до 5-15 минут.

Повышение полноты охвата. Система не «пропускает» информацию из-за человеческого фактора, анализируя все подписанные каналы и реестры круглосуточно.

Заключение

Было проведено исследование применимости нейронных сетей и методов автоматизации для сбора информации в строительной отрасли. Основным результатом работы является разработанный и протестированный прототип двухконтурной системы.

Практическая реализация подтвердила работоспособность и эффективность предложенного подхода. Было доказано, что сочетание предварительной фильтрации по правилам и глубокого нейросетевого анализа позволяет создать сбалансированное по точности и производительности решение. Интеграция с CRM-системой Бит-рикс24 замкнула цикл автоматизации, напрямую встраивая собранные данные в бизнес-процессы компании.

Выявлено, что нейронные сети, в частности модели семейства Transformer, являются высокоэффективным инструментом для автоматизации обработки текстовой информации в предметной области строительства. Оптимальная архитектура системы сбора данных для реального бизнеса должна быть гибридной, объединяя надёжность методов работы со структурированными источниками и гибкость NLP для работы с неструктурированными данными. Ключевыми факторами успеха являются качество обучающих данных для NLP-моделей и устойчивость модулей парсинга к изменениям внешних источников.

Литература

1. McKinsey & Company. The next normal in construction: How disruption is reshaping the world's largest ecosystem [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-next-normal-in-construction> (дата обращения: 04.08.2025).
2. Goodfellow, I., Bengio, Y., Courville, A. Deep Learning – MIT Press, 2016.
3. Vaswani, A. et al. Attention Is All You Need // Advances in Neural Information Processing Systems (NIPS). 2017.
4. Ким Д.С., Петров А.В. Применение свёрточных нейронных сетей для мониторинга прогресса строительства по видеоданным с дронов // Цифровая трансформация строительства. 2024. № 3. С. 45-52.
5. Иванов П.К. Методы API-интеграции для автоматического обновления баз данных строительных объектов // Информационные технологии в проектировании и производстве. 2023. № 4. С. 23-29.
6. Фатхулин Т. Д., Юдин А. Д. Методики оптимизации загрузки изображений в web-приложениях // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2025. № 1. С. 105-110. EDN TXTWFG.
7. Фатхулин Т. Д., Фатхулина Г. Г., Рахматова А. А. Интеграция технологии больших языковых моделей в образовательный процесс высшей школы // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2025. № 2. С. 107-110. EDN FOGQPZ.
8. Киреев А. А., Фатхулин Т. Д. Анализ средств автоматизированного выбора конфигурации сети // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2025. № 1. С. 15-19. EDN ETSHKC.
9. Фатхулин Т. Д., Чепенко К. А. Анализ технологий обнаружения дефектов фасадов зданий // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2025. № 1. С. 78-82. EDN BYMERU.
10. Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д., Кожанов М. С. Анализ и исследование применения нейросетевых технологий для генерации программного кода // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. № 87. С. 41-53. DOI 10.21667/1995-4565-2024-87-41-53. EDN HKEOFX.
11. Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д., Ментус М. В. Разработка и применение методов распознавания зашумленных аудиофайлов посредством нейросетевых технологий // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2024. № 88. С. 65-73. DOI 10.21667/1995-4565-2024-88-65-73. EDN NMXASI.
12. Мяlicheva А. А., Фатхулин Т. Д. Анализ методов машинного обучения для прогнозирования дефектов в исходном коде // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2024. № 2. С. 16-19. EDN IVJCZF.

13. Маслов К. В., Фатхулин Т. Д., Иванов Д. А. Анализ технологий автоматизации бизнес-процессов и разработки программного обеспечения с использованием low-code платформ // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2024. № 1. С. 6-11. EDN HDBOYM.
14. Фатхулин Т. Д., Исаев А. В. Анализ моделей arima и lstm, используемых для прогнозирования криптовалют и определения портфеля инвестиций // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2024. № 2. С. 20-25. EDN ODWOPA.
15. Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д. Разработка методов и алгоритма формализации текстового запроса к онлайн-сервисам, генерирующим изображения посредством нейросетевых технологий // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2023. № 85. С. 82-95. DOI 10.21667/1995-4565-2023-85-82-95. EDN PZWYZV.
16. Фатхулин Т. Д., Лушин Е. А. Анализ развития автоматической генерации кода для web-сервисов // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2023. № 1. С. 128-132. EDN JUEGXP.
17. Митрофанов А. О., Степанов М. Н., Фатхулин Т. Д. Анализ нейросетевых методов генерации изображения по текстовому запросу // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2022. № 1. С. 19-23. EDN CWRLQA.
18. Фатхулин Т. Д., Хорицова С. Г., Щитов В. М. Анализ ключевых особенностей технологии программно-конфигурируемых оптических сетей (SDON) // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. 2021. № 1. С. 29-34. EDN SMTDAF.
19. Фатхулина Г. Г. Разработка технологического уровня когнитивного обучения иностранному языку магистрантов гуманитарного вуза // Современные методы и технологии преподавания иностранных языков : Сборник научных статей XVI Международная научно-практическая конференция, Чебоксары, 17-18 октября 2019 года / Ответственные редакторы: Н.В. Кормилина, Н.Ю. Шугаева. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2019. С. 125-129. EDN BWPGLK.
20. Фатхулина Г. Г. Обучение иноязычному чтению на основе теории межкультурной коммуникации // Лингводидактические особенности обучения иностранным языкам в неязыковых вузах : Материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 апреля 2019 года. М.: Канцлер, 2019. С. 221-226. EDN VZHZPT.
21. Фатхулина Г. Г. Содержание обучения фонетическому аспекту английского языка в свете теории межкультурной коммуникации // Вопросы лингводидактики и межкультурной коммуникации в контексте современных исследований : сборник научных статей XI Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 26 апреля 2019 года / отв. ред. Н. В. Кормилина, Н. Ю. Шугаева. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2019. С. 372-376. EDN IVAMWG.
22. Фатхулина Г. Г. Роль глоссария в овладении студентами иноязычной лексикой // Вопросы лингводидактики и межкультурной коммуникации : Сборник научных статей, Чебоксары, 23-24 октября 2015 года; Ответственные редакторы: Н. В. Кормилина, Н. Ю. Шугаева. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2015. С. 193-197. EDN UYLLQR.
23. Фатхулина Г. Г. Развивающий потенциал современных технологий обучения иностранному языку в вузе // Высшее образование для XXI века : XII Международная научная конференция: Доклады и материалы. Круглый стол «Оптимизация преподавания иностранного языка в вузе», Москва, 03-05 декабря 2015 года / Отв. ред. С. Ф. Щербак. М.: Московский гуманитарный университет, 2015. С. 21-26. EDN VNBMBG.
24. Фатхулина Г. Г. Применение технологии активного слушания в преподавании иностранного языка студентам гуманитарного вуза // Актуальные проблемы лингводидактики и методики обучения иностранным языкам : сборник научных статей. Чебоксары: Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева, 2015. С. 281-284. EDN TYAKQZ.
25. Fatkhulina G. G. A cognitive EFL teaching techniques for University students // Современное языковое образование: инновации, проблемы, решения : Сборник научных трудов. М.: Московский государственный гуманитарный университет им. М.А. Шолохова, 2014, pp. 157-162. EDN TDAXGD.
26. Вишневецкий В. М., Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д., Занегин А. В. Методы машинного обучения в решении задачи прогнозирования спроса на отдельные виды товаров // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Т. 18, № 10. С. 34-43. DOI 10.36724/2072-8735-2024-18-10-34-43. EDN COBEAG.
27. Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д., Занегин А. В. Модификация метода градиентного усиления для прогнозирования спроса на отдельные виды товаров // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2025. Т. 17, № 2. С. 32-41. DOI 10.36724/2409-5419-2025-17-2-32-41. EDN PNUPKY.
28. Леохин Ю. Л., Дымкова С. С., Фатхулин Т. Д. Методы машинного обучения в прикладных задачах прогнозирования динамично изменяющихся данных // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19, № 8. С. 49-63. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-8-49-63. EDN ULVCHG.
29. Leokhin Yu. L., Dymkova S. S., Fatkhulin T. D. Research and development of image improvement tools // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Vol. 19, No. 4, pp. 45-56. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-4-45-56. EDN FUINEN.
30. Леохин Ю. Л., Фатхулин Т. Д., Маслов К. В. Разработка методов системного анализа бизнес-процессов в банковской сфере для принятия решений о кредитовании различных организаций // Научные технологии в

космических исследованиях Земли. 2025. Т. 17, № 5. С. 59-71. DOI 10.36724/2409-5419-2025-17-5-59-71. EDN VXBFTH.

31. *Леохин Ю. Л., Дымкова С. С., Фатхулин Т. Д., Зозуля И. С.* Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений в организационных системах торговых компаний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2025. Т. 19, № 12. С. 44-50. DOI 10.36724/2072-8735-2025-19-12-44-50. EDN XXFTQJ.