

**ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И  
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2025**

**19 июня 2025 г.**

**СБОРНИК ТРУДОВ**

**СМОЛЕНСК  
2025**

УДК 338(075.8)  
Е60

**ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ИМИТАЦИОННОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2025.**

Сб трудов научного семинара. В 1 т. Т 1. – 2025. – 124 с.

ISBN 978-5-91412-555-1

В сборнике публикуются труды участников научного семинара «ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2025», в которых изложены результаты оригинальных научно-технических работ в области актуальных проблем науки и высшей школы. Семинар посвящен развитию научного наследия профессора Емельянова А.А. – основателя российской школы имитационного моделирования.

Издание предназначено для научных работников и преподавателей вузов, магистров и аспирантов, осуществляющих исследования в области системного анализа и управления с использованием методов имитационного моделирования.

ISBN 978-5-91412-555-1

©Авторы

©«Универсум»

© филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске. 2025

П.А. Артюхова, маг.; рук. О.В. Булыгина, к.э.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

## ПОДБОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ *IIoT* С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИМИЗАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ

В настоящее время технология промышленного интернета вещей (*Industrial Internet of Things - IIoT*) занимает важное место в цифровизации производственных процессов, обеспечивая мониторинг состояния оборудования, прогнозирование отказов и сбор данных. Однако эффективность работы *IIoT*-систем зависит от правильного подбора датчиков и параметров для их мониторинга. Неоптимальный выбор может привести к информационной избыточности, что в последствии увеличит нагрузку на сети и хранилища данных, большим затратам на развертывание и обслуживание, а также к снижению точности диагностических проверок. Согласно статистическим исследованиям [1], ожидается, что рынок *IIoT* вырастет в два раза, достигнув 263 миллиардов долларов к 2026 году, что подтверждает актуальность использования цифровых технологий для мониторинга и управления. В то же время компания PwC заявляет, что неэффективный мониторинг увеличивает затраты на обслуживание оборудования на 15-20%. В связи с чем оптимизация подбора датчиков и параметров становится актуальной задачей для обеспечения эффективной работы предприятий, использующих системы промышленного интернета вещей. При осуществлении неправильного подбора датчиков снижается качество данных, в связи с этим возникает риск угрозы безопасности и эффективности производственных процессов. Оптимизация позволяет не только снизить объем потерь данных при передаче показателей и затрат на эксплуатацию оборудования, но и повысить точность диагностических работ с помощью отбора наиболее значимых параметров (частота сбора данных, чувствительность, диапазон измерений).

Для решения данного вида задач широко применяются такие традиционные методы детерминированного поиска, как линейное программирование, градиентный спуск и другие [2-4]. Однако у них есть свой ряд недостатков в виде отсутствия быстрой адаптации к динамически меняющимся условиям, из-за чего их использование в контексте применения технологии промышленного интернета вещей становится малоэффективным. В отличие от них, метаэвристические алгоритмы демонстрируют высокую гибкость при работе со сложными оптимизационными задачами в сфере *IIoT*. Они позволяют находить эффективные решения в условиях неопределённости и высокой сложности за счёт разнообразных поисковых стратегий, избегая застревания в локальных экстремумах. На практике эти алгоритмы успешно применяются в различных сценариях: от оптимизации проектирования *IIoT*-систем (выбор датчиков, размещение оборудования, распределение нагрузки) до настройки параметров для повышения надёжности и минимизации уязвимостей.

В данной работе предлагается для решения указанной задачи применить метаэвристический алгоритм *Bat Algorithm (BA)*, который вдохновлен поведением летучих мышей базирующийся на применении эхо-сигналов для нахождения оптимальных маршрутов [5]. Его выбор обусловлен быстрой сходимостью, балансом между исследованием и эксплуатацией и низкой вычислительной сложностью, с его помощью можно эффективно оценить множество вариантов датчиков, имитировать случайное поведение без необходимости анализа заранее заданных сценариев, а также адаптировать компоненты алгоритма к любым изменениям внешних условий. BA относится к биоинспирированным алгоритмам, что позволяет ему эффективно находить глобальные оптимумы даже в сложных многомерных пространствах. Работа алгоритма основана на моделировании поведения колонии летучих мышей, что обеспечивает высокую адаптивность к изменяющимся условиям - критически важное свойство для *IoT*, где параметры мониторинга зависят от множества факторов, включая условия эксплуатации и специфику оборудования. Кроме того, BA отличается возможностью масштабирования, что делает его перспективным инструментом для оптимизации конфигурации сенсорных систем [6].

Алгоритм решения оптимизации подбора датчиков и параметров для мониторинга состояния *IoT* с использованием алгоритма летучих мышей представлен на рисунке 1. Его основными этапами являются:

1) Инициализация популяции. Каждая летучая мышь представляет собой вектор параметров (частоты, громкости, позиции датчиков). Позиция каждой мыши  $x_i$  кодирует набор выбранных датчиков и их параметров (1.1):

$$x_i = [s_1, s_2, \dots, s_n], s_j \in \{0, 1\}, \quad (1.1)$$

где  $s_j = 1$  – датчик включен,  $s_j = 0$  – выключен.

2) Определение целевой функции *Fitness Function* (1.2):

$$F(x_i) = \alpha \cdot \text{Info}(x_i) - \beta \cdot \text{Cost}(x_i), \quad (1.2)$$

где  $\text{Info}(x_i)$  – информативность выбранных датчиков (оценивается через энтропию/точность модели),

$\text{Cost}(x_i)$  – стоимость/энергопотребление выбранных датчиков,

$\alpha, \beta$  - весовые коэффициенты.

3) Обновление позиций (глобальный поиск) летучих мышей (1.3-1.5):

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min}) \cdot \beta, \quad (1.3)$$

$$v_i^{t+1} = v_i^t + (x_i^t - x^*) \cdot f_i, \quad (1.4)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1}, \quad (1.5)$$

где  $f_i$  – частота импульсов,

$v_i$  – скорость,

$x_i$  - текущее лучшее решение.

4) Локальный поиск (эхолокация) определен формулой (1.6):

$$x^* = x_i + \epsilon \cdot A^t, \quad (1.6)$$

где  $\epsilon \in [-1, 1]$  - случайное число,  $A^t$  – средняя громкость.

5) Адаптация громкости и импульса, определяется по формулам (1.7 и 1.8):

$$A_i^{t+1} = \alpha \cdot A_i^t, \quad (1.7)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 \cdot [1 - e^{-\gamma t}], \quad (1.8)$$

где  $A_i$  – громкость,

$r_i$  – частота импульса.

6) Проверка критериев останова. Данный этап является завершающим, на нем производится максимальное число итераций и достигается заданная точность.

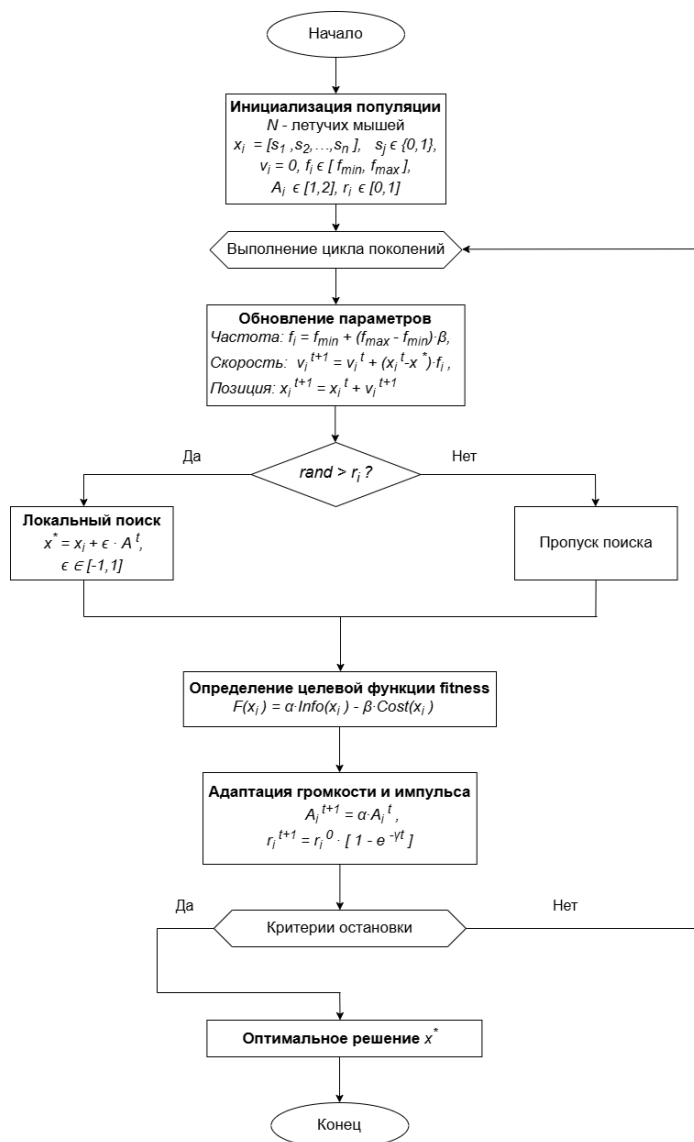


Рисунок 1 – Алгоритм решения задачи с использованием алгоритма ВА

Для применения данного алгоритма в *IIoT* рекомендуется выбрать веса  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  в фитнес-функции, настроить диапазоны  $f_{min}/f_{max}$  под конкретные датчики и добавить ограничения на позиции  $x_i$  (минимальный/максимальный пороги). Для реализации можно использовать *Python* или *MATLAB*, интегрировав алгоритм с моделями данных *IIoT* (через *API* промышленных датчиков).

Основными преимуществами данного подхода являются высокая скорость поиска наилучшего набора датчиков, возможность учета различных критериев (точность, энергопотребление, стоимость) и адаптации к изменениям требуемой задачи, что обеспечивает гибкость. Алгоритм летучих мышей позволяет оптимизировать выбор датчиков, снижая затраты на оборудование, а также повышает точность сбора данных и качество аналитики. Благодаря этому улучшается управление производственными процессами, сокращаются простои и операционные расходы. Однако у *ВА* есть и недостатки. Как и другие метаэвристические методы, он зависит от начальных параметров и может застревать в локальных оптимумах. Кроме того, его реализация требует значительных вычислительных ресурсов, особенно при обработке больших данных, что может снижать производительность системы. Тем не менее, его внедрение должно быть обоснованным: важно учитывать вычислительные затраты, необходимость квалифицированных специалистов и риск получения неоптимальных решений. При грамотном использовании *ВА* может значительно повысить эффективность производства, но его применение требует тщательного анализа возможностей и ограничений.

Таким образом, использование метаэвристического алгоритма летучих мышей позволяет эффективно решать задачу оптимизации подбора датчиков и параметров в *IIoT*, снижая затраты и повышая качество мониторинга. Дальнейшее развитие метода связано с его адаптацией к динамическим промышленным системам и интеграцией с современными вычислительными платформами.

#### Список литературы

1. Интернет вещей, IoT, M2M рынок России [Электронный ресурс] // Tadviser. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет\\_вещей,\\_IoT\\_\(рынок\\_России\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Интернет_вещей,_IoT_(рынок_России)) (дата обращения: 04.06.2025).
2. Лазарев А.И. Управление энергопотреблением IIoT-устройств в электроэнергетических системах на основе нейро-нечетких моделей / А.И. Лазарев, С.А. Федулова, А.Н. Алексахин, А.П. Жарков // Прикладная информатика. – 2024. – №6 (114). – Т.19. – С. 129-143.
3. Кириллова Е.А. Нейро-нечеткая модель ресурсного обеспечения инновационной деятельности промышленного предприятия / Е.А. Кириллова, А.Ю. Пучков, В.С. Минин, Д.Д. Ярцев // Прикладная информатика. – 2024. – №5 (113). – Т.19. – С. 126-142.
4. Булыгина О.В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах / О.В. Булыгина, Д.Д. Ярцев, Н.Н. Прокимнов, Е.К. Верейкина // Прикладная информатика. – 2024. – №5 (113). – Т.19. – С. 65-87.
5. Yang, X.S. A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In: González, J.R., Pelta, D.A., Cruz, C., Terrazas, G., Krasnogor, N. (eds) Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NCSO 2010). Studies in Computational Intelligence, 2010. vol 284. Springer, Berlin, Heidelberg.
6. Dao T. K., Nguyen T. T. A review of the bat algorithm and its varieties for industrial applications //Journal of Intelligent Manufacturing. – 2024. – P. 1-23.

## **ВЫБОР АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

В эпоху цифровой трансформации энергетический сектор претерпевает изменения, превращая современные системы в сложные киберфизические комплексы, где энергетическое оборудование тесно интегрировано с информационными и коммуникационными технологиями. Надежность, устойчивость и эффективность таких систем напрямую обусловлены их способностью к оперативному обнаружению и диагностике неисправностей.

Неисправности в энергетическом секторе могут быть вызваны поломкой оборудования, отказами датчиков, сбоями в программном обеспечении или неэффективностью операционного управления, что в последствии ведет к снижению производительности, росту эксплуатационных затрат, и риску нарушения энергоснабжения. Традиционные методы зачастую оказываются недостаточными для анализа больших объемов разнородных данных, генерируемых энергетическими системами. В связи с этим возникает необходимость в переходе от реактивного (реагирующего на сбой) подхода к проактивному, предиктивному обслуживанию, основанному на глубоком анализе данных в реальном времени. Алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) предлагают мощные инструменты для автоматизации и оптимизации процессов диагностики. Они способны выявлять скрытые паттерны, аномалии и корреляции в больших массивах данных, которые недоступны для традиционных методов анализа.

Целью данной работы является анализ современных подходов к диагностике неисправностей на основе алгоритмов искусственного интеллекта и разработка методологической карты выбора алгоритмов МО для диагностики неисправностей в энергетических системах.

Для решения задач диагностики применяется широкий спектр алгоритмов, которые можно условно разделить на три основные группы: машинное обучение (МО), метаэвристики и нечеткие системы вывода [1]. МО является наиболее распространенным подходом. Оно делится на контролируемое (с учителем), неконтролируемое (без учителя) и полу-контролируемое обучение. Контролируемое обучение используется, когда имеются размеченные данные (нормальные и аварийные режимы). Алгоритмы обучаются на этих данных для классификации новых наблюдений. Неконтролируемое обучение применяется для поиска скрытых структур в неразмеченных данных, для кластеризации режимов работы или обнаружения аномалий. Полу-контролируемое обучение сочетает оба подхода, что особенно полезно при дефиците размеченных данных.

Несмотря на разнообразие модификаций методов диагностики неисправностей, в научной литературе выделяется ряд основных алгоритмов машинного обучения для этой задачи [2]:

– метод опорных векторов (*SVM, Support Vector Machine*). Эффективен для бинарной классификации (норма/неисправность). Строит гиперплоскость, максимально разделяющую два класса данных, что обеспечивает высокую точность даже на многомерных данных;

– деревья решений (*DT, Decision Trees*) и Случайный лес (*RF, Random Forest*). *DT* просты в интерпретации и позволяют визуализировать процесс принятия решений. Метод случайного леса устойчив к выбросам и хорошо справляется с большими, зашумленными наборами данных [3];

– алгоритм градиентного бустинга *XGBoost (Extreme Gradient Boosting)*. Последовательно строит модели, исправляющие ошибки предыдущих. Отличается высокой эффективностью при работе с несбалансированными данными и большими объемами информации;

– искусственные нейронные сети (*ANN, Artificial Neural Network*), способные моделировать сложную нелинейную динамику энергетических систем. Разновидность нейросетей – глубокие нейронные сети (*Deep Learning*), такие как *LSTM (Long Short-Term Memory)*, эффективно обрабатывают временные ряды данных сенсоров, что критично для прогнозирования отказов;

– метаэвристики, используются для решения NP-трудных задач, где невозможно найти глобальный оптимум за разумное время детерминированными методами и представляют собой алгоритмы оптимизации, вдохновленные природными процессами (эволюцией, поведением роя). Генетические алгоритмы (*GA, Genetic Algorithm*) основаны на принципах естественного отбора (селекция, кроссовер, мутация) и применяются для оптимизации параметров моделей, подбора лучших гиперпараметров для *SVM*. Оптимизация роя частиц (*PSO, Particle Swarm Optimization*) моделирует поведение стаи птиц или роя насекомых. Частицы перемещаются в поисковом пространстве, ориентируясь на лучшие личные и глобальные позиции. Оптимизация серого волка (*GWO, Grey Wolf Optimizer*) имитирует социальную иерархию и процесс охоты в стае волков;

– нечеткие системы основаны на теории нечетких множеств Лотфи Заде, где элемент может частично принадлежать к множеству. Это позволяет работать с неопределенностью и качественными оценками, характерными для экспертных знаний. Процесс включает фаззификацию (преобразование четких входов в нечеткие), нечеткий вывод по правилам «ЕСЛИ-ТО» и дефаззификацию (получение четкого выхода). Нечеткие системы хорошо интегрируются с другими методами ИИ, образуя гибридные модели.

На основе проведенного анализа популярных алгоритмов МО в таблице 1 обобщены примеры их применения для решения отдельных инженерных задач по обнаружению неисправностей в энергетических системах.

Выбор оптимального алгоритма для диагностики неисправностей в энергетических системах является многофакторной задачей, зависящей от характеристик данных, сложности системы, требований к задаче и желаемых результатов. Систематизация результатов научных исследований привела к формированию практических рекомендаций по выбору алгоритма. Для

неразмеченных данных необходимо начать с методов неконтролируемого обучения, таких как кластеризация (*K-means*).

Таблица 1 – Примеры применения алгоритмов МО для обнаружения неисправностей в энергетических системах

Области обнаружения неисправностей	Инженерные задачи	Алгоритмы МО
Силовые трансформаторы	Диагностика неисправностей на основе данных о растворенном газе	Метод опорных векторов, Генетические алгоритмы, Искусственные нейронные сети
Линии электропередач	Обнаружение неисправностей в трехфазной системе промышленных линий	Нейронная сеть прямого распространения, Алгоритм обратного распространения
Тепловые электростанции	Оценка датчиков для диагностики неисправностей	Метод опорных векторов, Метод k ближайших соседей
Гидроэлектростанции	Диагностика и обнаружение повреждений турбин	Байесовской сети и метода главных компонент
Ветряные электростанции	Диагностика отказа ветряной турбины	Скрытая марковская модель

Предлагаемая методологическая карта выбора алгоритмов МО для диагностики неисправностей в энергетических системах представлена на рисунке 1.

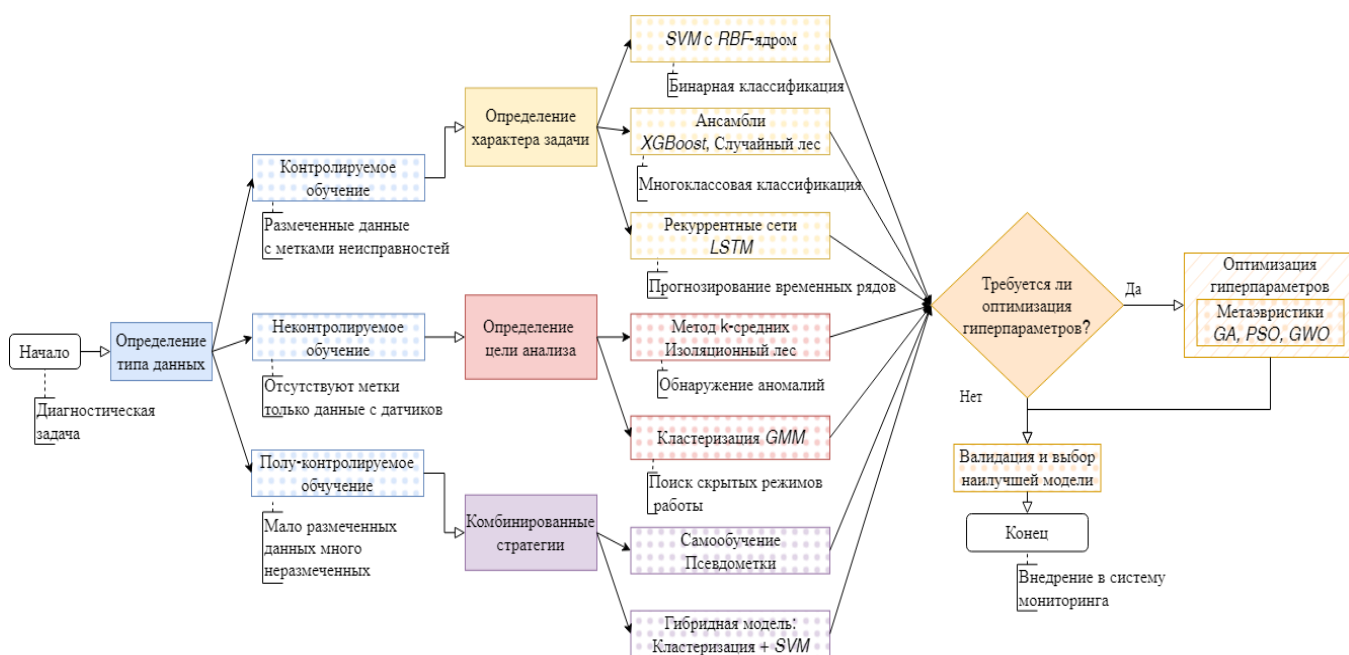


Рисунок 1 – Методологическая карта выбора алгоритмов МО для диагностики неисправностей в энергетических системах

Методологическая карта отражает последовательность этапов обнаружения аномалий в технологических данных, которые могут указывать на возникновение неисправности. Для более сложных задач с большим количеством данных и классов предпочтительнее выбрать случайный лес или *XGBoost*, которые обеспечивают более высокую точность. Для сложных нелинейных зависимостей и временных рядов архитектуры ИНС типа *LSTM*, являются наиболее мощным инструментом для моделирования динамики системы и прогнозирования отказов.

Несмотря на прогресс в применении МО и ИИ, остаются нерешённые проблемы надёжности, безопасности и масштабируемости решений в реальных условиях энергетической инфраструктуры: отсутствие универсальных методов защиты данных, защиты моделей от кражи и унификации гетерогенных потоков данных [4]. Это указывает на то, что современные исследования находятся лишь на начальном этапе формирования целостной методологии ИИ-диагностики для энергетики. Решение этих задач станет ключевым условием устойчивой цифровой трансформации отрасли в ближайшее десятилетие.

Проведенный анализ свидетельствует о высокой эффективности алгоритмов искусственного интеллекта в разнообразных сценариях диагностики неисправностей энергетических систем. Ключевым фактором достижения оптимальных результатов является обоснованный выбор метода, который должен основываться на комплексной оценке специфики решаемой задачи, характеристиках входных данных и анализа достоинств и ограничений различных моделей МО. Предложенная в работе методологическая карта выбора алгоритмов МО для диагностики неисправностей в энергетических системах способствует систематизации этого процесса, повышая его прозрачность и надёжность.

#### Список литературы

1. Любарский Ю.Э., Кузьменко А.А., Шестакова Е.А. Диагностика состояния электрооборудования на основе технологии цифрового двойника // НТЦ ЕЭС. – 2023. – № 5–6. – С. 54–55.
2. Смирнов А.В., Савватеев М.В., Сухоруков В.В. Интеллектуальная система диагностики неисправностей силового оборудования подстанций // Электричество. – 2022. – № 11. – С. 54–61.
3. Кириллова Е.А., Пучков А.Ю., Минин В.С., Ярцев Д.Д. Нейро-нечеткая модель ресурсного обеспечения инновационной деятельности промышленного предприятия // Прикладная информатика. – 2024. – Т. 19, № 5(113). – С. 126-142.
4. Mikołajczyk A., Nowicki K., Siwczyński M., Wnuk, S. Artificial intelligence algorithms supporting the energy sector: applications and challenges // Energies. – 2022. – Vol. 16, № 1. – P. 347.

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ИМИТАЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Использование цифровых двойников для имитационного тестирования нейросетевых моделей в реальном времени представляет собой перспективное направление в области интеллектуальной автоматизации производственных процессов [1]. Сложность технических объектов, таких как станки с числовым программным управлением (ЧПУ), требует высокоточной диагностики и прогнозирования износа инструмента. При этом традиционные методы тестирования нейросетей не учитывают динамику производственной среды. Применение цифровых двойников позволяет реализовать воспроизведение физических процессов в цифровом виде с учетом текущего состояния оборудования, что создаёт полноценную тестовую среду для валидации нейросетевых решений в реальном времени.

Цифровой двойник – это параметрическая модель технической системы, функционирующая синхронно с физическим объектом. При мониторинге износа инструмента он моделирует сигналы вибрации, температуры, тока и акустики на основе данных с физических сенсоров или их симуляции. Преимущество цифрового двойника заключается в способности воспроизводить редкие и критические сценарии износа без риска остановки производственной линии. Это позволяет проводить нагрузочные испытания нейросетевой модели, в том числе стресс-тестирование на устойчивость к выбросам, шумам и сбоям телеметрии, что невозможно при эксплуатации на реальном оборудовании [2].

Отличие цифрового двойника от классических средств моделирования заключается в его способности работать в онлайн-режиме и обновляться на основе поступающих данных. В процессе тестирования нейросетевой модели цифровой двойник поставляет входные данные, имитирующие реальное поведение станка, а модель формирует прогноз состояния инструмента. Такой подход позволяет оценить задержки в обработке, устойчивость предсказаний и реакцию модели на вводные искажения. Кроме того, он предоставляет возможность отладки алгоритмов автоматического реагирования — например, при предсказании критического износа модель инициирует снижение скорости резания, что должно отразиться в данных двойника, замыкая контур.

Тестирование в среде цифрового двойника обеспечивает значительное расширение обучающей выборки. Проблема дисбаланса классов, характерная для задач технической диагностики (редкость критических событий), решается путем генерации синтетических сценариев. Моделирование микротрещин, увеличения вибрации или перегрева позволяет насытить тренировочные и валидационные выборки критическими примерами без необходимости доводить инструмент до отказа в реальности. Это повышает обобщающую

способность модели и снижает вероятность ложных негативов при эксплуатации [3].

Использование цифрового двойника особенно эффективно при тестировании моделей сверточных нейронных сетей (CNN), обученных на спектрограммах. Генерация сигналов с заданными спектральными характеристиками позволяет варьировать тип и интенсивность дефектов, формируя полные репрезентативные выборки. Это обеспечивает более точную настройку гиперпараметров модели, таких как глубина сети, размер сверточных ядер, архитектура пулинга и плотных слоев. Кроме того, цифровой двойник позволяет реализовать циклическое тестирование: повторные прогоны одного и того же сценария позволяют анализировать стабильность предсказаний при варьировании параметров.

Интеграция цифрового двойника с производственными системами, такими как SCADA и MES, реализуется через промышленный протокол OPC UA. Это обеспечивает двусторонний обмен: нейросетевая модель получает данные в реальном времени, а её прогнозы могут использоваться для симуляции корректирующих воздействий (например, снижение нагрузки на шпиндель при опасности износа). Такая архитектура даёт возможность тестировать алгоритмы не только предсказания, но и управления, в том числе реакцию исполнительных механизмов на сигналы модели.

Одним из важнейших результатов применения цифровых двойников является возможность построения системы онлайн-дооптимизации нейросетевых моделей. Цифровой двойник может использоваться как источник данных для периодического дообучения модели в условиях дрейфа данных, вызванного, например, сменой типа инструмента или сырья. Это особенно актуально для производственных условий, где характеристики сигнала могут изменяться из-за старения оборудования, нестабильного питания или изменений в технологии обработки [4]. Таким образом, цифровой двойник становится не только средой тестирования, но и адаптивным механизмом поддержки актуальности нейросетевой модели.

Разработка интеллектуального программного модуля на базе технологий .NET Core и WPF позволила реализовать комплексную систему прогнозирования износа инструмента, способную функционировать в реальном времени. Научная новизна предлагаемого подхода заключается в комплексной реализации контурной адаптации нейросетевой модели, где цифровой двойник используется не только как источник имитационных данных, но и как активный элемент системы адаптивного управления. Это обеспечивается за счет встроенной возможности циклического воспроизведения сценариев, имитирующих редкие и аварийные режимы, а также за счет непрерывного обновления модели в ответ на изменения производственных условий. Впервые реализовано сочетание таких возможностей в рамках единой программной архитектуры, что делает предложенную систему уникальной среди существующих аналогов.

Архитектура решения включает модули сбора и предобработки сигналов (вибрация, температура, акустика), нейросетевой анализатор на базе сверточной сети и интерфейс визуализации с возможностью интеграции в SCADA-среду.



Рисунок 1 – Архитектура программного модуля

Система обеспечивает автоматический анализ текущих данных, визуальное отображение состояния инструмента и выдачу текстовых рекомендаций оператору. Применение промышленного протокола OPC UA позволило реализовать двустороннюю связь между модулем и внешними управляющими системами, включая передачу критических сигналов и активацию корректирующих действий [5].



Рисунок 2 – Главное окно программы с результатами анализа состояния инструмента

Была реализована синтетическая генерация диагностических данных с помощью цифрового двойника станка, что позволило проводить тестирование модели в условиях, имитирующих реальные производственные сценарии,

включая редкие и аварийные режимы. Это обеспечило более устойчивую работу модели в условиях шума, скачков телеметрии и нестандартных ситуаций.

Результаты тестирования подтвердили стабильность работы всех компонентов системы, корректность обработки сигналов и точность классификации уровня износа. Система успешно адаптируется под различные режимы и типы инструмента, а архитектура позволяет масштабировать решение на другие производственные участки.

#### Литература

1. Васильев А. Н., Тархов Д. А. Методы создания цифровых двойников на основе нейросетевого моделирования / А. Н. Васильев, Д. А. Тархов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. - 2022. - Т. 13, № 2. - С. 85–92. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-sozdaniya-tsifrovyyh-dvoynikov-na-osnove-neyrosetevogo-modelirovaniya> (дата обращения: 25.05.2025).
2. Кабалдин, Ю. Г., Шатагин, Д. А. Кузьмишина, А. М. Цифровой двойник режущего инструмента для интеллектуальных систем мониторинга / Ю. Г. Кабалдин, Д. А. Шатагин, А. М. Кузьмишина // Вестник машиностроения. - 2021. - № 7. - С. 45–50. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37078457> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Петров, А. В. Имитация как основа технологии цифровых двойников / А. В. Петров // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Машиностроение и точная обработка материалов. - 2022. - № 2. - С. 71–76. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsiya-kak-osnova-tehnologii-tsifrovyyh-dvoynikov> (дата обращения: 25.05.2025).
4. ГОСТ Р 57700.37–2021. Цифровая модель и цифровой двойник. Общие положения / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. - Введ. 2021-12-01. - М: Стандартинформ, 2021. - 12с.
5. Каширин, В. В., Шаталов, А. В. Применение технологий цифровых двойников в энергетике / В. В. Каширин, А. В. Шаталов // Энергетика и промышленность России. - 2023. - № 10. - С. 28–32. - URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46596881> (дата обращения: 25.05.2025).

*С.В. Будкин, маг.; рук. Л.Ю. Гетманцев, к.т.н., ст. пр.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **СПОСОБЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТОВ**

Существует достаточно много способов для анализа текстов. Рассмотрим только действительно хорошо зарекомендовавшие себя и претендующие на научную значимость способы, и алгоритмы для анализа текстов.

Латентно-семантический анализ (Latent Semantic Analysis, сокр. LSA) – это способ анализа данных на естественном языке, который используется для выявления скрытых отношений между словами в тексте и представления их в виде числовых векторов [4]. LSA основан на предположении о том, что слова, которые часто встречаются вместе в тексте, скорее всего имеют сходные значения. Этот способ позволяет снизить размерность данных и выделить основные темы или концепции, скрытые в тексте.

Латентно-семантический анализ отображает документы и отдельные слова в так называемое «семантическое пространство», в котором и производятся все дальнейшие сравнения. При этом делаются следующие предположения:

1. Документы – это просто набор слов. Порядок слов в документах игнорируется. Важно только то, сколько раз то или иное слово встречается в документе;

2. Семантическое значение документа определяется набором слов, которые как правило идут вместе. Например, в биржевых сводках, часто встречаются слова: «фонд», «акция», «доллар»;

3. Каждое слово имеет единственное значение. Это, безусловно, сильное упрощение, но именно оно делает проблему разрешимой.

Когда речь идёт о семантическом анализе, то используются статистические алгоритмы TF, IDF, их составная модификация TF-IDF и более действенное сингулярное разложение SVD [5]. Все эти алгоритмы являются частью латентно-семантического анализа текстов (LSA).

У каждого из перечисленных алгоритмов есть большой недостаток: они не учитывают изменение конкретного слова по правилам русского языка. Словоформа «биржевых» слова «биржа» не является родственной к оригинальному слову, если использовать алгоритм LSA для проверки статьи с содержанием двух этих слов, являющихся словоформами друг друга.

Предлагается использовать метод поиска паттернов, который позволит избежать конкретных условий рассмотрения различных словоформ.

Суть способа поиска паттернов состоит в нахождении закономерностей в тексте, разработанном человеком и синтетическом тексте, сгенерированном ИИ, с последующим распознаванием каждого из этих типов текстов за счёт установления отрицательных зависимостей.

Необходимо сформировать библиотеку текстов, сгенерированных нейросетями. При этом, библиотека должна быть достаточно объемной, чтобы исключить вариант со «статистическим шумом».

Если определять понятие «отрицательная зависимость», то это зависимость, которая не используется в синтетических текстах, но активно используется в написанных человеком, что позволяет на основе традиций и устоев трактовать неправильность употребления различных средств языка, что в конечном итоге позволяет определить сгенерированные тексты на синтетичность, потому что люди в подавляющем большинстве своём так не пишут. На рисунке 1 представлены частоты употребления слов в сгенерированном GigaChat тексте об автомобилях.

Нейросеть слишком часто употребляет слово «автомобиль», что уже выглядит достаточно странно. В сгенерированном тексте о «местоимениях» Гигачат [3] уделил внимание этому слову целых 16 раз, тогда как союз «и» был употреблен всего лишь 6 раз, слово «или» – 5 раз, слово «для» – 4 раза, а местоимение «я» – 4 раза (рисунок 1).

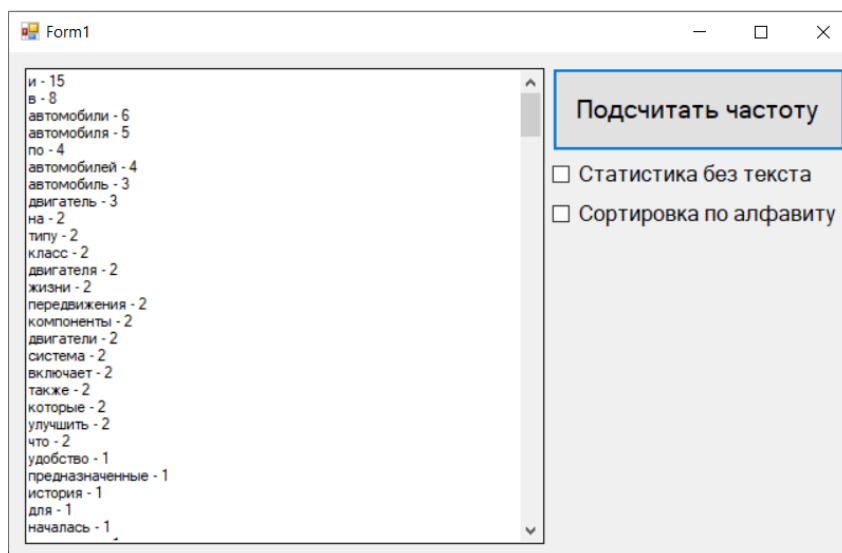


Рисунок 1 – Частоты употребления слов в сгенерированном GigaChat тексте об автомобилях от

Вся проблема в том, что это – самые популярные слова [6]. Здесь видна тенденция к чрезмерно высокой доле упоминания предмета или объекта, о котором идет речь.

Идея паттерного анализа состоит в том, чтобы проверять тексты запросов на частоту использования слов и определенных частей речи. В старых моделях есть некоторая проблема с использованием местоимений, хоть это и говорит только о том, что синтезированные тексты принадлежат к группе публицистических. ИИ все еще генерирует тексты по определенному алгоритму, особенно это касается конкретных вопросов, по которым нейросеть нумерует свои аргументы, и делает небольшие абзацы со своей смысловой нагрузкой. Объяснить это алгоритму является чрезмерно трудозатратным, поэтому не используется.

Для проверки этого тезиса, обратимся к отечественному ChatGPT 3.5 [2]. Текст об автомобилях имеет подобные частоты (рисунок 2).

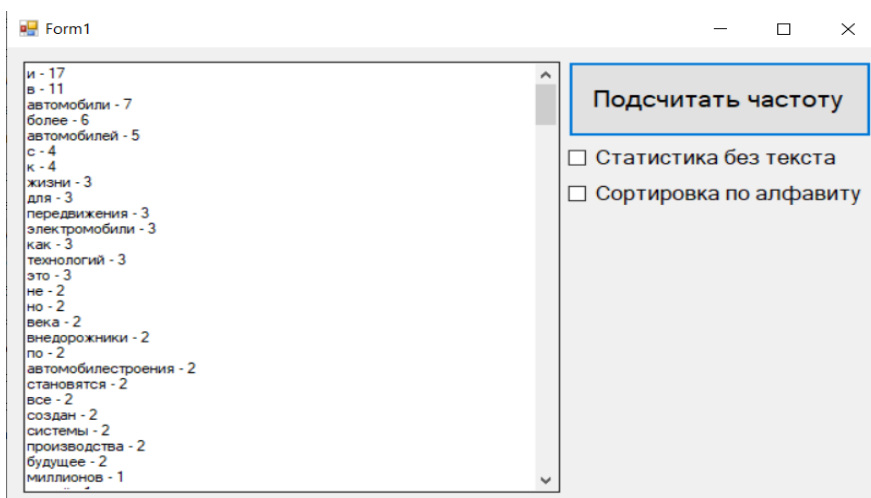


Рисунок 2 – Частоты употребления слов в сгенерированном ChatGPT 3.5 тексте об автомобилях

Видно, что тоже достаточно много употреблений слова «автомобили» и очень мало использования местоимений.

Во всех этих текстах, даже без учета найденных закономерностей, есть еще и смысловые ошибки в некоторых случаях: неверное употребление прилагательных и причастий, неверная расстановка знаков препинания, неверное смысловое выражение текстов об определенном объекте – нужно писать «об автомобиле», а потом «о нем» или о «средстве передвижения». Объяснить смысловую нагрузку алгоритму слишком трудно, а разворачивать свой ИИ – не задача данного исследования. Поэтому приходится обходиться только паттернами.

Если же говорить о более совершенных моделях ИИ, то ChatGPT-4o [1] выдал не просто какой-то текст об автомобилях, который полностью соответствует правилам американского эссе по количеству букв, слов и предложений, а достойное рассуждение серьезных размеров (рис. 3) с хорошей смысловой нагрузкой.

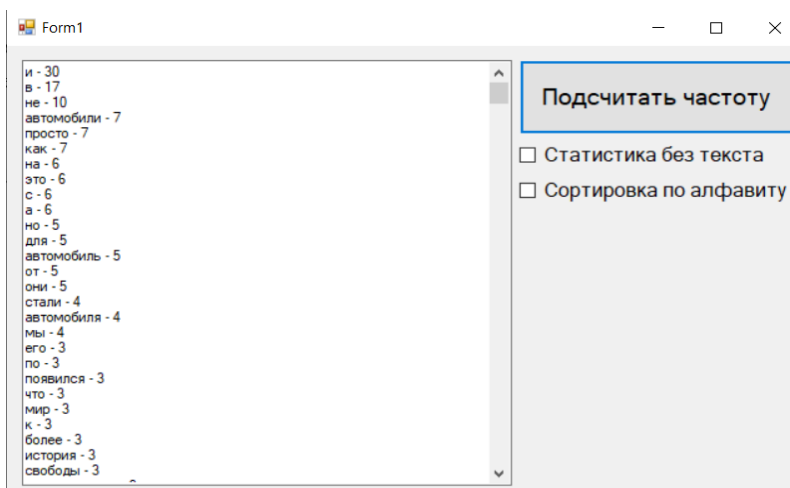


Рисунок 3 – Частоты употребления слов в сгенерированном ChatGPT-4o тексте об автомобилях от

Необходимо очень точно производить расчет всех частот употребления слов, на основе изменений окончаний/падежей/склонений/времен и других характеристик.

Исследуя синтетические тексты, удалось найти закономерность в употреблении местоимений – ни один ИИ их не использует или использует очень ограниченно. Возможно, причиной этого служит перевод с английского на русский, что не исключено, потому что и российские модели нейросетей были разработаны на основе продуктов OpenAI и других лидеров гонки за собственным могущественным искусственным интеллектом.

Идея паттерного анализа состоит в том, чтобы проверять тексты запросов на частоту использования слов и определенных частей речи. В старых моделях ИИ есть некоторая проблема с использованием местоимений, хоть это и говорит только о том, что синтезированные тексты принадлежат к группе

публицистических текстов. Они все еще генерируют тексты по определенному алгоритму, особенно это касается конкретных вопросов, по которым нейросеть нумерует свои аргументы, и делает небольшие абзацы со своей смысловой нагрузкой. Объяснить это алгоритму является чрезмерно трудозатратным, поэтому пока широко не используется. А многообразие человеческих языков и их диалектов, пока что позволяет надёжно распознавать сгенерированные тексты, что, скорее всего, будет ещё очень долго одним из основных способов в определении синтетических текстов.

#### Список литературы

1. ChatGPT : [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://chatgpt.com/>
2. ChatGPT на русском : [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://trychatgpt.ru/>
3. GigaChat 2.0: [Электронный ресурс] : GigaChat - русскоязычная нейросеть от Сбера // Режим доступа: <https://giga.chat/>
4. Semantic analysis of webpages with machine learning in Go : [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.jamesbowman.me/post/semantic-analysis-of-webpages-with-machine-learning-in-go/>
5. Wikipedia The Free Encyclopedia : [Электронный ресурс] : Singular value decomposition // Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Singular\\_value\\_decomposition#Reduced\\_SVDs](https://en.wikipedia.org/wiki/Singular_value_decomposition#Reduced_SVDs)
6. Зализняк А. А. Грамматический словарь русского языка: Словоизменение. Ок. 100000 слов. 2-е изд., стереотип. М.: Рус. яз., 1980. - 880 с. : [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://gramdict.ru/>

*О.В. Булыгина, канд. экон. наук, доц., П.А. Артюхова, асс.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ ИТ-КОНТРОЛЛИНГА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРИВЛЕЧЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КЛИЕНТОВ**

В условиях цифровой трансформации бизнеса современные маркетинговые стратегии всё больше зависят от результатов обработки клиентских данных, что делает ИТ-инфраструктуру не вспомогательным, а стратегически значимым компонентом маркетинговой деятельности. Ключевую роль в привлечении клиентов играет лидогенерация, представляющая собой процесс привлечения, идентификации и квалификации потенциальных клиентов (лидов), проявивших интерес к продукту или услуге компании, с целью последующего перевода их в отдел продаж. Данный процесс представляется драйвером устойчивого роста бизнеса: он напрямую влияет на объемы выручки, коэффициенты конверсии и рентабельность маркетинговых вложений. Однако эффективность лидогенерации зависит не только от креативности кампаний, но и от программных средств, которые собирают, интегрируют, анализируют и трансформируют данные из множества каналов: от социальных сетей и поисковых систем до CRM и чат-ботов. ИТ-контроллинг в этом процессе выступает как механизм управления ИТ-ресурсами с целью обеспечения их максимальной эффективности, прозрачности и соответствия бизнес-целям. Он позволяет оптимизировать затраты на технологии, оценивать возврат от инвестиций в маркетинговые платформы (например, рекламные системы, автоматизацию лидогенерации, аналитические дашборды), а также

выявлять узкие места в бизнес-процессах, которые снижают скорость и точность привлечения клиентов.

Актуальность данной работы обусловлена растущей сложностью цифровых маркетинговых систем: компании сталкиваются с фрагментацией данных, ограниченностью инструментов, несовместимостью программных средств и недостатком прозрачности в оценке *ROI* маркетинговых активностей. Многие организации инвестируют значительные средства в ИТ-решения для лидогенерации, но не имеют проверенных инструментов контроля их эффективности, в результате системы работают, но не приносят измеримой выгоды. Проблема заключается в отсутствии системного подхода к выбору ИТ-инструментов, адаптированных под организационную специфику процесса лидогенерации. Нередко компании выбирают решения по принципу «самое модное» или «самое дорогое», не учитывая реальные бизнес-требования, интеграционные возможности и долгосрочную поддержку. Это приводит к нерациональному расходованию бюджета, дублированию функций, снижению «качества» бизнес-процессов и, как следствие, потере конкурентных преимуществ. В связи с этим возникает необходимость решения проблемы, обусловленной переходом от интуитивного управления маркетинговыми технологиями к контролируемому и измеримому подходу. Грамотный выбор ИТ-инструментов, основанный на принципах ИТ-контроллинга, позволит компаниям превратить поток данных в стратегический актив, обеспечивающий устойчивый и предсказуемый рост клиентской базы.

Значимость ИТ-контроллинга в процессе привлечения потенциальных клиентов возрастает в условиях ускоренной цифровизации, ужесточения нормативных требований и необходимости принимать управленческие решения в условиях информационной неопределенности [1]. На сегодняшний день процесс привлечения потенциальных клиентов характеризуется трансформацией каналов взаимодействия с клиентами, ростом объёмов и разнообразия источников данных, а также интеграцией автоматизированных систем маркетинга, CRM и аналитических платформ. В частности, современная лидогенерация характеризуется многоканальностью и фрагментацией данных. Также среди особенностей выделяют необходимость в высокой скорости обработки запросов: ожидания клиентов возрастают, и задержка в реагировании значительно снижает конверсию.

Игнорирование данных особенностей ведёт к определенным негативным последствиям. Во-первых, это потеря потенциальных клиентов из-за медленной реакции на поведение пользователя (задержки в маршрутизации, ручная валидация, отложенные триггеры). Без быстрой персонализации и адаптивных сценариев коммуникации пользователи получают нерелевантные сообщения, что снижает отклик и конверсию на всех этапах воронки. Во-вторых, приводит к росту расходов на привлечение клиентов из-за неэффективного распределения бюджетов между каналами. Несвоевременные и непродуманные коммуникации ухудшают впечатление о компании, снижают удержание и сокращают долгосрочную ценность клиента [2, 3].

Исходя из вышесказанного, для процесса привлечения потенциальных клиентов можно применять инструменты ИТ-контроллинга, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Инструменты ИТ-контроллинга для привлечения клиентов

Инструменты стратегического ИТ-контроллинга		Инструменты оперативного ИТ-контроллинга	
<i>BI-платформы для стратегического анализа (Power BI, Tableau)</i>		<i>Система управления взаимоотношениями с клиентами (CRM)</i>	
Мониторинг ключевых метрик лидогенерации (трафик, конверсии, САС, CPL)	Ежедневный контроль эффективности каналов и кампаний, обнаружение отклонений	Платформа для регистрации, маршрутизации и воронки лидов	Применяется для автоматического распределения лидов, отслеживания истории взаимодействий
<i>Система управления эффективностью деятельности предприятия (CPM)</i>		<i>Платформы маркетинговой автоматизации (MAP)</i>	
Обеспечивает сбор, консолидацию ключевых метрик эффективности бизнеса, оценку достижимости целей	Позволяет отслеживать выполнение KPI и оценивать расхождения текущего положения с плановыми данными	Инструменты для сегментации, триггерных кампаний, скоринг лидов	Применяется для отправки серий писем, классификации лидов по поведению
<i>Система планирования ресурсов предприятия (ERP)</i>		<i>Система управления данными клиентов (CDP) / DMP</i>	
Интегрированная система учёта и управления основными бизнес-процессами: финансы, закупки, склад, производство, HR	Оптимизация цепочки поставок, сценарное планирование ресурсов, управление финансовыми потоками	Сбор и унификация поведенческих и CRM данных для персонализации и таргетинга	Применяется для построения профиля лида для точного ремаркетинга и сегментации
<i>ML / Data Science (обучение моделей)</i>		<i>Чат боты и инструменты живого общения (онлайн чаты)</i>	
Процессы подготовки данных, разработки и обучения моделей машинного обучения/аналитики	Прогнозирование спроса, сценарное моделирование, выявление новых продуктов / рынков	Оперативное взаимодействие с посетителями сайта для сбора контактных данных	Мгновенный квалификационный опрос, назначение встречи, сбор лидов вне рабочего времени
<i>Хранилище внешних источников / Data Lake / Data Warehouse</i>		<i>Системы A/B тестирования и оптимизации конверсии (Optimizely, VWO)</i>	
Места хранения сырых и/или агрегированных данных: инфраструктура интеграции внешних источников	Создание единой БД для аналитики, интеграция внешних рыночных данных для анализа	Проведение экспериментов на лендингах и формах для повышения конверсии	Применение: тестирование заголовков, форм, СТА и шаблонов письма

На рисунке 1 отражена модель ИТ-контроллинга в процессе привлечения потенциальных клиентов. Современные инструменты ИТ-контроллинга

позволяют не только оценивать рентабельность инвестиций (*ROI*) в конкретные ИТ-решения и маркетинговые каналы, но и выявлять «узкие места» в воронке привлечения и работе цифровых сервисов.

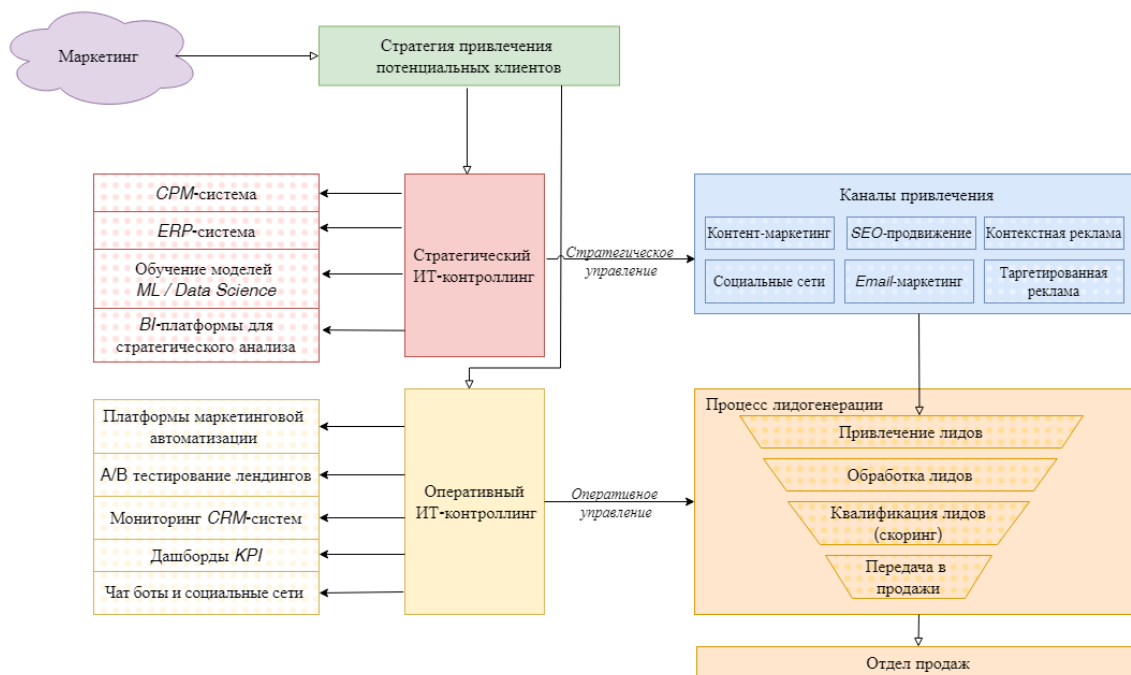


Рисунок 1 – Модель ИТ-контроллинга в процессе привлечения потенциальных клиентов

Внедрение инструментов ИТ-контроллинга в процесс привлечения потенциальных клиентов обеспечивает компании комплексную выгоду, охватывающую следующие направления:

- повышение прозрачности воронки продаж (сквозная аналитика позволяет отслеживать поведение лидов на каждом этапе и выявлять узкие места и точки оттока);
- улучшение поступающих лидов (автоматические правила скоринга и сегментации повышают долю релевантных контактов, сокращая время работы отдела продаж с нерелевантными заявками);
- снижение стоимости привлечения лида (оптимизация каналов и кампаний на основе точных данных о конверсии и затратах, что позволяет перераспределять бюджет в пользу наиболее эффективных источников);
- рост конверсии и скорости обработки (интеграция CRM, маркетинговой автоматизации и внутренних процессов обеспечивает быстрое реагирование на запросы и персонализированные коммуникации);
- улучшение клиентского опыта (персонализация коммуникаций и своевременное сопровождение лида повышают его удовлетворённость и вероятность конверсии).

Эти преимущества в совокупности приводят к повышению эффективности коммерческих процессов, улучшению финансовых показателей и укреплению конкурентных позиций компании.

Проведенный анализ показывает, что в период цифровизации ИТ-контроллинг превращается из вспомогательной функции в стратегический инструмент привлечения потенциальных клиентов. Эффективное протекание данного процесса требует интеграции *BI*, *CRM*, *CDP*, маркетинговой автоматизации и аналитики в единую систему управления данными. Разделение на стратегический и оперативный уровни контроля позволяет точно отслеживать воронку, повышать конверсию и улучшать клиентский опыт. Грамотно подобранные и интегрированные инструменты ИТ-контроллинга ведут к ускоренному развитию конкурентоспособности компании в цифровой экономике.

#### Список литературы

1. Булыгина О. В. Использование методов нечеткой логики для приоритезации критериев отбора в массовом рекрутинге / О. В. Булыгина, М. Ю. Воротилова // Энергетика, информатика, инновации - 2024: тр. XIV Междунар. научн.-технич. конф. – Смоленск: Универсум, 2024. – С. 14-16.
2. Булыгина О. В. Конструирование экономико-математических моделей многокритериальной оптимизации на основе гибридных метаэвристик / О. В. Булыгина // Прикладная информатика. – 2025. – Т. 20, № 3(117). – С. 66-84.
3. Булыгина О. В. Технологии искусственного интеллекта в маркетинге: формирование портретов лидеров / О. В. Булыгина, П. А. Артюхова, М. В. Круглякова // Энергетика, информатика, инновации - 2024 : тр. XIV Междунар. научн.-технич. конф. – Смоленск: Универсум, 2024. – С. 54-56.

*О.В. Булыгина, канд. экон. наук, доц.; П.А. Артюхова, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА КОШАЧЬЕЙ СТАИ ДЛЯ ПОДБОРА КАНАЛОВ ЦИФРОВОГО МАРКЕТИНГА**

В современных условиях цифровой маркетинг стал неотъемлемым элементом маркетинговой стратегии компаний, а выбор оптимальных каналов привлечения напрямую определяет успех рекламных кампаний. Однако высокая динамичность цифровой среды, разнообразие платформ и форматов контента делают ручной подбор крайне трудоёмкими и зачастую неэффективными. Неверные решения в этой области могут привести к значительному перерасходу бюджета, низкой конверсии и упущенным возможностям. Согласно статистическим данным, в 2025 году глобальные расходы на цифровую рекламу могут превысить 650 миллиардов долларов, что подчёркивает масштаб рынка и необходимость эффективного управления маркетинговыми инвестициями. По оценкам *McKinsey*, компании, внедряющие подходы, основанные на управлении данными для оптимизации цифрового маркетинга, повышают его эффективность на 15-20%. В этих условиях задача автоматизированного подбора каналов привлечения приобретает особую актуальность, поскольку позволяет максимизировать отдачу от маркетинговых бюджетов и повысить целевую конверсию.

Для решения подобных задач традиционно используются методы А/В-тестирования, регрессионного анализа и линейного программирования. Однако они обладают рядом недостатков: медленной скоростью сходимости, зависимостью от больших объёмов исторических данных и ограниченной

способностью адаптироваться к быстрым изменениям в поведении аудитории. В отличие от них, метаэвристические алгоритмы проявляют высокую гибкость при решении сложных задач многомерной оптимизации [1], характерных для цифрового маркетинга. Такие алгоритмы способны находить приемлемые решения даже в условиях неопределённости и высокой размерности пространства, избегая застревания в локальных экстремумах [2]. На практике они могут успешно применяться в различных маркетинговых задачах: от оптимизации медиапланов и подбора ключевых слов до персонализации рекламных сообщений.

В данной статье предлагается использовать для решения поставленной задачи алгоритм *Cat Swarm Optimization (CSO)*, вдохновлённый поведением кошачьей стаи и сочетающий два режима: поиска (*seeking mode*) и преследования (*tracing mode*) [3]. Выбор *CSO* обусловлен его способностью эффективно балансировать между глобальным исследованием пространства решений и локальным уточнением найденных решений. Алгоритм устойчив к шумам в данных и поддерживает работу как с дискретными, так и с непрерывными параметрами, что позволяет работать с такими метриками, как *CTR (Click-Through Rate)*, *CPA (Cost Per Action)* и *LTV (Lifetime Value)*. Кроме того, *CSO* демонстрирует высокую скорость сходимости и легко адаптируется под бизнес-ограничения, бюджетные лимиты или показатели охвата аудитории.

Процесс подбора каналов привлечения с использованием алгоритма кошачьей стаи начинается с постановки задачи. Суть задачи заключается в нахождении такой комбинации каналов привлечения, которая обеспечит оптимальной значение целевой функции (например, прибыль, количество лидов, *ROI*) при заданных ограничениях:

$$F(x) \rightarrow \underset{x \in X}{extr}, \quad extr \in \{max, min\}, \quad (1)$$

где  $F(x)$  – целевая функция,  $x$  – вектор параметров,  $X$  – пространство допустимых решений.

На втором этапе происходит инициализация популяции: создаётся стая из  $N$  «кошек», каждая из которых представляет собой уникальный канал привлечения, закодированный в виде вектора параметров:

$$x_i = (x_{i1}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{iJ}), \quad i = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где  $x_i$  – вектор параметров  $i$ -й кошки,  $x_{ij}$  –  $j$ -й параметр  $i$ -й кошки,  $N$  – число кошек,  $J$  – число параметров (длина вектора).

Каждый элемент  $x_{ij}$  может отвечать за выбор рекламной платформы (например, социальные сети или поисковые системы) и целевую аудиторию. Изначально популяция формируется случайным образом, чтобы обеспечить разнообразие исходных решений. Популяция делится на две подгруппы: для режима поиска (моделирует поведение кошки, изучающей окружение) и для

режима преследования (моделирует активное движение к цели).

Третий этап отвечает за оценку пригодности. После формирования популяции для каждой кошки вычисляется фитнес-функция (*Fitness Function*):

$$F(x_i) = \alpha \cdot ROAS(x_i) + \beta \cdot Reach(x_i) - \gamma \cdot Cost(x_i), \quad (3)$$

где  $ROAS(x_i)$  – возврат на рекламные расходы;  $Reach(x_i)$  – охват аудитории (количество уникальных пользователей, увидевших рекламу);  $Cost(x_i)$  – общие затраты по каналу;  $\alpha, \beta, \gamma$  – весовые коэффициенты, задаваемые в зависимости от приоритетов (например, акцент на охвате).

Эта функция служит измерителем эффективности канала, количественно объединяя такие ключевые показатели, как возврат на рекламные расходы, охват аудитории и общие затраты по каналу. Весовые коэффициенты  $\alpha, \beta$  и  $\gamma$  позволяют настраивать приоритеты под конкретные цели кампании, будь то максимизация доходности, увеличение узнаваемости бренда или контроль бюджета. Затем алгоритм входит в итеративный цикл, в рамках которого находится баланс между двумя режимами поведения кошек. В первом режиме, который отвечает за глобальный поиск, кошка изучает окружающее пространство. Этот процесс позволяет алгоритму избегать застревания в локальных оптимумах и изучать широкий спектр потенциально успешных вариантов, которые могли быть упущены при более прямолинейном поиске.

В режиме преследования (локальный поиск) кошка целенаправленно перемещается в сторону лучшей из известных позиций ( $x_{best}$ ). Такое движение моделируется путём обновления скорости и позиции особи:

$$v_i(t+1) = v_i(t) + r \cdot c \cdot (x_{best}(t) - x_i(t)), \quad i = \overline{1, N}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (4)$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1), \quad (5)$$

где  $v_i(t)$  – скорость перемещения  $i$ -й кошки в пространстве решений на  $t$ -м поколении,  $r$  – случайное число из  $[0,1]$ ,  $c$  – константа ускорения,  $t$  – номер поколения,  $T$  – число поколений,  $x_{best}(t)$  – позиция кошки, имеющей лучшее значение приспособленности, на  $t$ -м поколении;  $x_i(t)$  – позиция  $i$ -й кошки на  $t$ -м поколении.

Данный режим обеспечивает уточнение и улучшение перспективных решений, найденных на предыдущих этапах. Динамическое переключение между этими двумя режимами является ключевым преимуществом алгоритма. Вероятность выбора режима преследования задаётся параметром:  $P_{switch} \in [0,1]$ . После обновления позиции проверяется соблюдение ограничений и при их нарушении применяется коррекция (нормализация, штрафы и т.д.).

На следующем этапе сравниваются между собой решения текущей популяции. Лучшее значение фитнес-функции сохраняется как локальный оптимум. Цикл повторяется до срабатывания критерия останова (достигнуто максимальное число итераций или улучшение целевой функции стало

незначительным (сходится)). По завершении работы алгоритм возвращает лучший из найденных каналов привлечения  $x_{best}$ , который считается рациональным решением для заданных маркетинговых условий.

Для применения алгоритма кошачьей стаи (CSO) к выбору каналов привлечения требуется сначала определить кодировку «позиции кошки», задав соответствующие параметры рекламной кампании. Весовые коэффициенты в фитнес-функции следует настраивать в соответствии с ключевыми показателями эффективности. Реализацию можно выполнить на языке *Python*, интегрировав алгоритм с API рекламных платформ для автоматического сбора данных об устойчивости каналов и их оперативной корректировке (листинг 1).

Ключевые преимущества подхода включают высокую адаптивность к изменениям поведения аудитории, возможность одновременно учитывать множество показателей эффективности и ограничений, а также значительное сокращение времени на поиск прибыльных каналов по сравнению с традиционными методами [4]. Несмотря на перечисленные достоинства, алгоритм CSO обладает и рядом недостатков. Как и многие другие метаэвристические методы, его эффективность может существенно зависеть от начальных настроек, таких как размер популяции или вероятность переключения между режимами поиска. Кроме того, интеграция с рекламными платформами и обработка больших объёмов данных в реальном времени требуют вычислительных ресурсов и развитой инфраструктуры. Тем не менее, алгоритм кошачьей стаи представляет собой перспективный инструмент для оптимизации рекламных стратегий благодаря своей гибкости, скорости и способности эффективно работать в многомерных пространствах параметров.

## Листинг 1 – Фрагмент псевдокода метаэвристического алгоритма кошачьей стаи для подбора каналов цифрового маркетинга

```
НАЧАЛО
ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ:
N = 50, D = 5, B = 100000, M = 5000
SRD = 0.1, SMP = 5, CDC = 0.2, MR = 0.3
макс_итераций = 1000
инициализировать_кошек(N, D, B, M)
лучший_ROI = -∞

ОСНОВНОЙ ЦИКЛ:
ДЛЯ итерация = 1 ДО макс_итераций:
отсортировать_кошек_по_ROI()
определить_режимы_кошек(MR)

ДЛЯ КАЖДОЙ кошки:
ЕСЛИ режим == "СЛЕЖЕНИЕ":
ДЛЯ канал = 1 ДО D:
скорость[канал] += случайное_число(0,1) * (лучшее_решение[канал] - бюджет[канал])
бюджет[канал] += скорость[канал]
ИНАЧЕ:
лучший_кандидат = кошка
ДЛЯ k = 1 ДО SMP:
кандидат = копировать_кошку(кошка)
каналы = выбрать_случайные_каналы(D, CDC)
ДЛЯ канал В каналы:
кандидат.бюджет[канал] *= (1 + случайное_число(-SRD, SRD))
нормализовать_бюджет(кандидат)
ЕСЛИ кандидат.ROI > лучший_кандидат.ROI: лучший_кандидат = кандидат
кошка = лучший_кандидат

// Обновление лучшего решения
ЕСЛИ кошка.ROI > лучший_ROI:
лучший_ROI = кошка.ROI
лучшее_решение = копировать_кошку(кошка)

ВОЗВРАТ лучшее_решение, лучший_ROI

ФУНКЦИИ:
инициализировать_кошек(): случайное распределение бюджета
рассчитать_ROI(): (прибыль - затраты) / затраты
нормализовать_бюджет(): сумма бюджета = B, каждый канал ≥ M
КОНЕЦ
```

Таким образом, метаэвристический алгоритм кошачьей стаи позволяет эффективно решать задачу подбора каналов маркетинга в условиях постоянно меняющейся цифровой среды, способствуя снижению затрат и повышению конверсии. Перспективы дальнейшего развития метода связаны с его гибридизацией с методами машинного обучения для прогнозирования эффективности каналов привлечения.

#### Список литературы

1. Булыгина О. В. Технологии искусственного интеллекта в маркетинге: формирование портретов лидов / О. В. Булыгина, П. А. Артюхова, М. В. Круглякова // Энергетика, информатика, инновации - 2024 : тр. XIV Междунар. научн.-технич. конф. Смоленск: Универсум, 2024. С. 54-56.
2. Булыгина О.В. Направления гибридизации алгоритмов роевого интеллекта и нечеткой логики для решения оптимизационных задач в социально-экономических системах / О.В. Булыгина, Д.Д. Ярцев, Н.Н. Прокимно, Е.К. Верейкина // Прикладная информатика. – 2024. – №5. – Т.19. – С. 65-87.
3. Ahmed A.M, Rashid T.A, Saeed S.A.M. Cat Swarm Optimization Algorithm: A Survey and Performance Evaluation // Comput Intell Neurosci. – 2020. – pp. 1–20.
4. Chu SC., Tsai Pw. Cat Swarm Optimization // Trends in Artificial Intelligence. – 2006. – pp. 854–858.

*О.В. Булыгина, к.э.н., доцент; В.Н. Зубарева, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **БИОИНСПИРИРОВАННЫЙ МЕТОД СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ IIOT-СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Современные индустриальные системы Интернета вещей (IIoT) требуют высокой эффективности сенсорных сетей, обеспечивающих надежный сбор, передачу и обработку данных в реальном времени. Важнейшей задачей при их проектировании является рациональное размещение датчиков, минимизация их количества при сохранении покрытия и отказоустойчивости, снижение энергопотребления и обеспечение устойчивости топологии к изменениям производственной среды [1]. Традиционные подходы, такие как методы линейного программирования и алгоритмы комбинаторной оптимизации показывают ограниченную эффективность в условиях динамичных промышленных систем, так как плохо справляются со сложными пространствами и многокритериальными задачами. Это обуславливает необходимость разработки и применения новых инструментов, способных учитывать сложный характер взаимосвязей и адаптироваться к изменяющимся условиям.

В последние годы растёт интерес к биоинспирированным метаэвристическим, моделирующим процессы самоорганизации в природных системах. Эти методы демонстрируют высокую эффективность глобального поиска и устойчивость к «ловушкам» локальных экстремумов, что делает их перспективными для задач проектирования сенсорных сетей. Одним из таковых является алгоритм дождевых червей (*Earthworm Optimization Algorithm, EWA*) [2], вдохновленный репродуктивным поведением дождевых червей.

За счёт имитации природных принципов самоорганизации *EWA* способен формировать устойчивые конфигурации сенсорных сетей в условиях

изменяющейся производственной среды. В контексте построения *IIoT*-систем промышленного предприятия данный алгоритм можно использовать для решения задачи оптимизации топологии сенсорной сети, а именно для рационального размещения и обеспечения необходимых значений параметров сетевого взаимодействия, повышения точности измерений и снижения затрат на обслуживание сети.

На рисунке 1 представлена блок-схема алгоритма дождевых червей, отражающая процесс эволюции популяции возможных решений. На начальном этапе формируется исходная популяция, где каждая особь представляет возможную топологию сенсорной сети *IIoT* с заданными координатами датчиков и параметрами связи. Далее вычисляется функция приспособленности, оценивающая эффективность сети по критериям максимизации покрытия производственной зоны, минимизации избыточности и энергопотребления. После оценки «качества» решения сортируются, и лучшие сохраняются для последующих итераций, обеспечивая преемственность и стабильное улучшение результатов.

Ключевой особенностью алгоритма является моделирование двух типов размножения. Локальный поиск (*Reproduction 1*) уточняет решения вблизи рассматриваемого оптимума, а глобальный поиск (*Reproduction 2*) объединяет характеристики нескольких особей, что способствует исследованию новых областей пространства решений и предотвращает преждевременную сходимость. Интенсивность локального поиска регулируется параметром  $\alpha$ , который определяет величину смещения особей в пространстве решений и скорость адаптации к текущему оптимуму. Комбинация этих подходов регулируется параметром  $\beta$ , который постепенно уменьшается по экспоненциальному закону, обеспечивая переход от глобального поиска к локальному.

Дополнительную гибкость обеспечивает мутация Коши, позволяющая повышать вероятность выскакивания из локальных оптимумов. В базовой модели вероятность применения мутации регулируется параметром  $\gamma$ , что предотвращает избыточные возмущения. После каждой итерации популяция обновляется, и процесс повторяется до достижения критерия останова, определяемого числом поколений или стабилизацией функции приспособленности. В результате алгоритм формирует структуру сенсорной сети, обеспечивающую эффективное покрытие и устойчивость *IIoT*-системы.

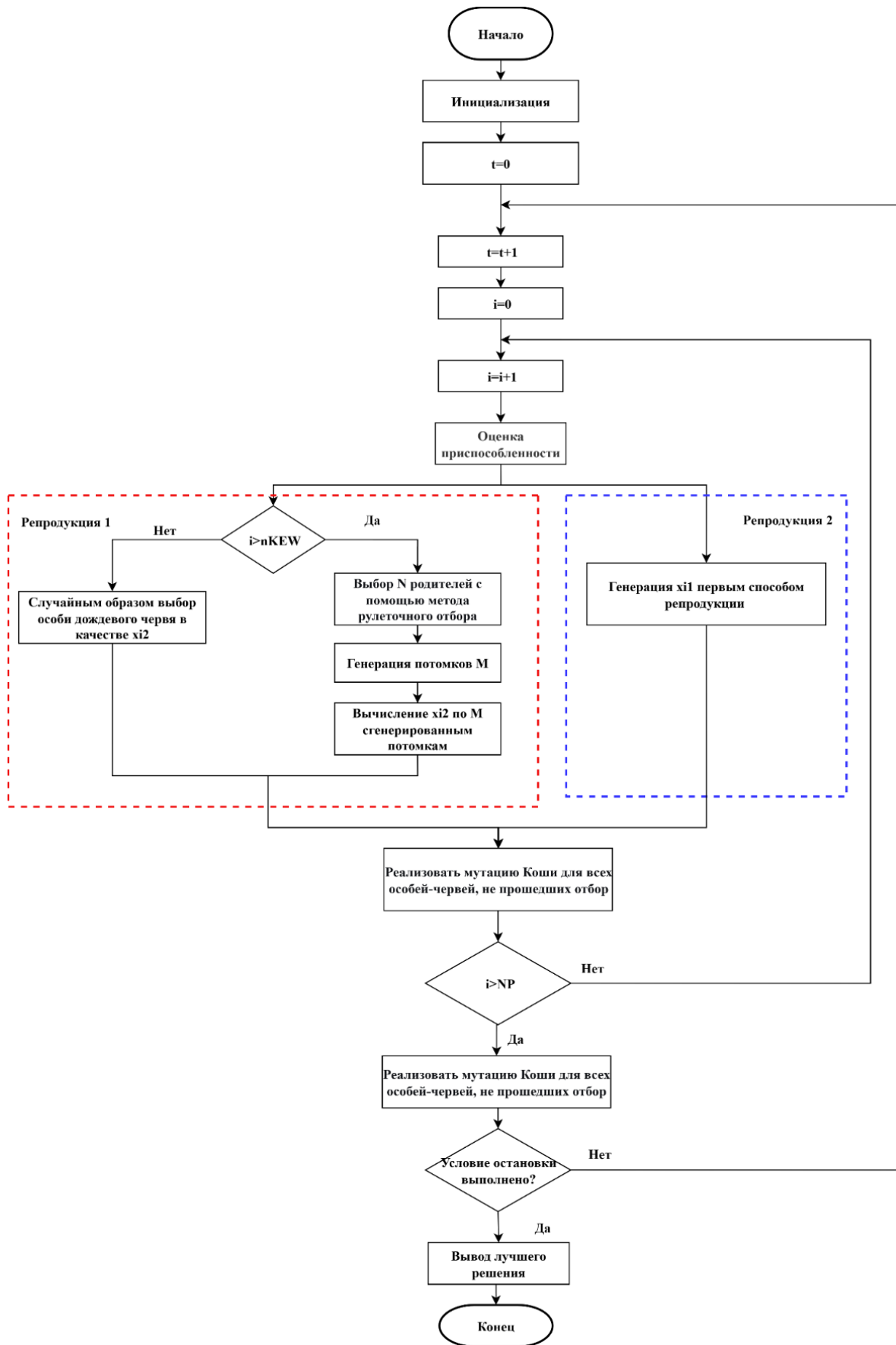


Рисунок 1 – Блок-схема биоинспирированного алгоритма дождевых червей

Формирование структуры сенсорной сети IoT-системы промышленного предприятия сводится к задаче многокритериальной оптимизации:

$$F(X)=w_1\cdot f_1(X)+w_2\cdot f_2(X)+w_3\cdot f_3(X) \rightarrow \min$$

где  $X=(x_1, x_2, \dots, x_{N_s})$  – набор координат сенсоров,  $N_s$  – число датчиков,  $f_1(X)$  – функция определения непокрытых областей рабочей зоны,  $f_2(X)$  – функция расчета суммарного энергопотребления,  $f_3(X)$  – функция оценки избыточности покрытия,  $w_1, w_2, w_3$  – веса критериев.

Для исследования применимости предлагаемой модификации EWA к данной задаче была выполнена ее программная реализация на языке *Python*. Проектирование велось с акцентом на модульность и гибкость для учета различных сценариев и моделей производственной среды.

Вычислительные эксперименты подтвердили эффективность алгоритма для решения задачи размещения сенсоров в двухмерном пространстве промышленной зоны. В ходе тестирования с семьюдесятью и шестью критическими точками алгоритм продемонстрировал устойчивую сходимость, стабильно достигая квазиоптимального решения примерно к 60-му поколению.

В результате работы программы было получено распределение сенсоров, при котором каждая из критических точек оказалась полностью покрыта зоной действия хотя бы одного датчика, обеспечив тем самым стопроцентное покрытие производственной области. Оптимальные координаты размещения сенсоров показали равномерное распределение по всей зоне мониторинга, что подтверждает способность алгоритма находить сбалансированные решения, минимизирующие избыточное перекрытие зон покрытия и обеспечивающие эффективность системы при минимальных затратах ресурсов.

Основным преимуществом данной модификации является её адаптивность под различные модели производственной среды. Алгоритм не требует сложной настройки параметров, обладает высокой стабильностью при многократных запусках и легко интегрируется с другими аналитическими модулями. Дополнительным достоинством является визуализация, позволяющая легко интерпретировать результаты.

Вместе с тем, можно отметить и ряд ограничений. Алгоритм чувствителен к выбору параметров  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , которые определяют интенсивность поиска и скорость сходимости. Неудачный выбор параметра  $\beta$  может приводить либо к чрезмерно медленной сходимости, либо к снижению разнообразия популяции. Для дальнейшего повышения эффективности возможно использование адаптивных схем настройки свободных параметров.

Таким образом, несмотря на указанные ограничения, реализованная программа подтвердила эффективность алгоритма дождевых червей как инструмента структурной оптимизации в промышленных IoT-системах. Полученные результаты свидетельствуют о его практической применимости для проектирования интеллектуальных сенсорных сетей, обеспечивающих

высокую точность, устойчивость и энергоэффективность работы в условиях динамичных производственных процессов.

*Работа выполнена в рамках государственного задания, проект №FSWF-2023-0012.*

Литература

1. Старцев Д. Ю., Логинов И. В., Родительский О. А. Численный метод расчета оптимального размещения датчиков на местности при ограничении пропускной способности // Экономика. Информатика. 2023. №3. С. 633-644.
2. Earthworm optimisation algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimisation problems. Authors: Gai-Ge Wang; Suash Deb и др. International Journal of Bio-Inspired Computation, 2018 Vol.12 No.1, pp.1 - 22. DOI: 10.1504/IJBIC.2018.093328

*О.В. Булыгина, к.э.н., доцент; В.Н. Зубарева, студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ВОЗВРАТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АЛГОРИТМА ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ**

В условиях развития электронной коммерции и увеличения объемов возвратов товаров особую актуальность приобретает задача организации их транспортировки. Возвратная логистика требует не только корректного перемещения товара от потребителя к производителю, но и оптимального выбора маршрутов, позволяющего снижать транспортные издержки, минимизировать время доставки и учитывать дополнительные факторы (например, дорожные условия, логистические риски, специфику грузов) [1]. Эти критерии зачастую противоречивы, поэтому задача оптимизации маршрутов возвратов товаров является многокритериальной, что делает ее более трудной по сравнению с классическими задачами маршрутизации.

Традиционные алгоритмы, такие как методы линейного программирования или детерминированные комбинаторные оптимизаторы, эффективно работают только при небольшом числе узлов и ограниченном количестве критериев. В реальных же условиях размерность задачи достаточно велика, а оптимальные решения требуют нахождения компромисса между несколькими целями. В таких ситуациях хорошо зарекомендовали себя метаэвристики, вдохновленные природными механизмами эволюции и поведения живых организмов, которые обладают способностью адаптироваться, искать решения в сложных пространствах и избегать преждевременной сходимости. Одним из таких подходов является алгоритм дождевых червей (*Earthworm Optimization Algorithm, EWA*) [2], обеспечивающий баланс между глобальным и локальным поиском.

Алгоритм дождевых червей опирается на биологические свойства этих организмов, прежде всего, на их способность к двум различным типам «размножения» и регенерации. В природе дождевые черви являются гермафродитами, т.е. червь способен формировать потомство без участия партнера, что отражено в механизме *Reproduction 1*. С другой стороны,

взаимодействие нескольких особей приводит к обмену генетическим материалом и порождению нескольких вариаций потомков, что моделируется в *Reproduction 2*. Важным также является факт, что многие виды дождевых червей способны восстанавливать части своего тела, что эквивалентно генерации новых решений на основе комбинации параметров предыдущих.

Алгоритм *EWA* использует популяционный подход, при котором множество решений эволюционирует от поколения к поколению. Первый механизм *Reproduction 1* создает новое решение на основе одного родителя и контролируется параметром  $\alpha$ , который определяет степень сходства между исходным и порожденным экземпляром. Второй механизм *Reproduction 2* использует несколько родителей, комбинируя их характеристики посредством разных видов кроссоверов и формируя один или несколько промежуточных потомков, которые затем агрегируются в итоговое решение с учетом весовой схемы. Весовые коэффициенты рассчитываются на основе качественных оценок потомков, что усиливает вклад более перспективных маршрутов. Параметр  $\beta$  регулирует относительный вклад двух механизмов воспроизводства и уменьшается от поколения к поколению по правилу геометрического затухания, тем самым, увеличивая интенсивность локального поиска. Дополнительно применяется мутационный оператор на основе распределения Коши, который периодически вносит крупные изменения в решение и тем самым улучшает способность алгоритма к исследованию пространства.

Отличие *EWA* от традиционных эволюционных алгоритмов заключается в структуре воспроизводства. Генетический алгоритм использует фиксированную процедуру скрещивания и мутаций, дифференциальная эволюция полагается на линейные комбинации векторов. *EWA* же сочетает два разных биологических механизма, варьирует количество потомков и использует адаптивные параметры, позволяющие плавно переходить от глобального поиска к локальному. Такой подход делает алгоритм подходящим для задач многокритериальной маршрутизации, где важно быстро формировать набор разных по структуре решений и избегать доминирования одного критерия над остальными.

В рамках исследования рассматривается задача построения оптимального маршрута возврата товара между пятнадцатью городами при фиксированных начальной и конечной точках. Маршрут должен проходить через все промежуточные города один раз, а его качество будет оцениваться по нескольким критериям, которые отражают логистические требования и ограничения. В качестве критериев рассматриваются суммарное расстояние, затраченное на прохождение маршрута время и показатель сложности, учитывающий возможные риски или особенности инфраструктуры.

Векторно-целевая функция включает три независимых функционала, которые требуется минимизировать:  $F_1$  рассчитывает суммарную протяженность маршрута,  $F_2$  характеризует временные затраты,  $F_3$  отражает сложность участков пути. В результате решается задача поиска маршрутов путем нахождения компромисса между тремя целями.

Поскольку найти глобальный оптимум невозможно, применяется концепция Парето-оптимальности. Маршрут считается недоминируемым, если не существует другого маршрута, который улучшает хотя бы один критерий без ухудшения остальных. Совокупность всех таких решений образует Парето-фронт, который используется для анализа баланса между расстоянием, временем и сложностью и служит основой для выбора лучших логистических вариантов.

Для проведения вычислительного эксперимента была выполнена программная реализация многокритериального алгоритма дождевых червей на языке *Python*. На основе входных данных сформированы маршруты, выполнена их оценка по трем критериям и осуществлен многокритериальный выбор лучшего. На рисунке 1 показаны три матрицы (расстояний, времени и сложности), лучшие по каждому критерию маршруты и маршрут, наилучший по всем критериям. На рисунке 2 показана визуализация маршрута, который является оптимальным по совокупности показателей.

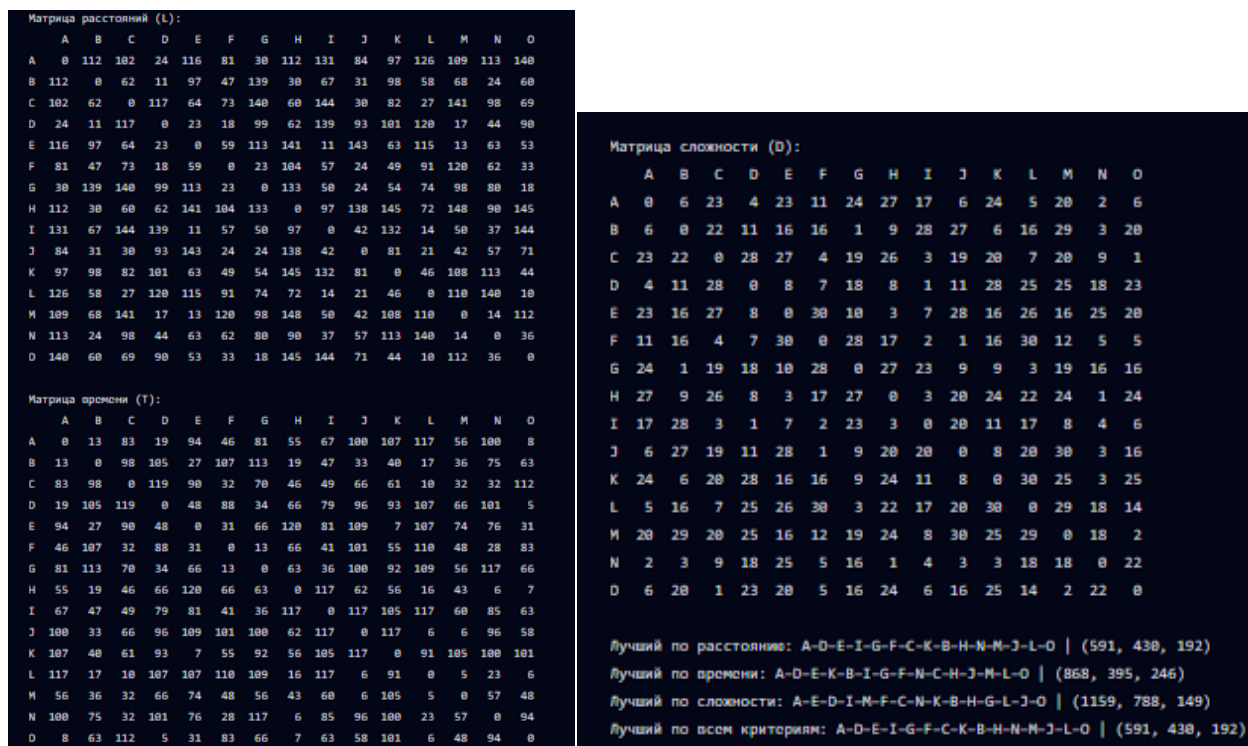


Рисунок 1 – Результат работы программы

Лучший по всем критериям (L+T+D) — L=591, T=430, D=192

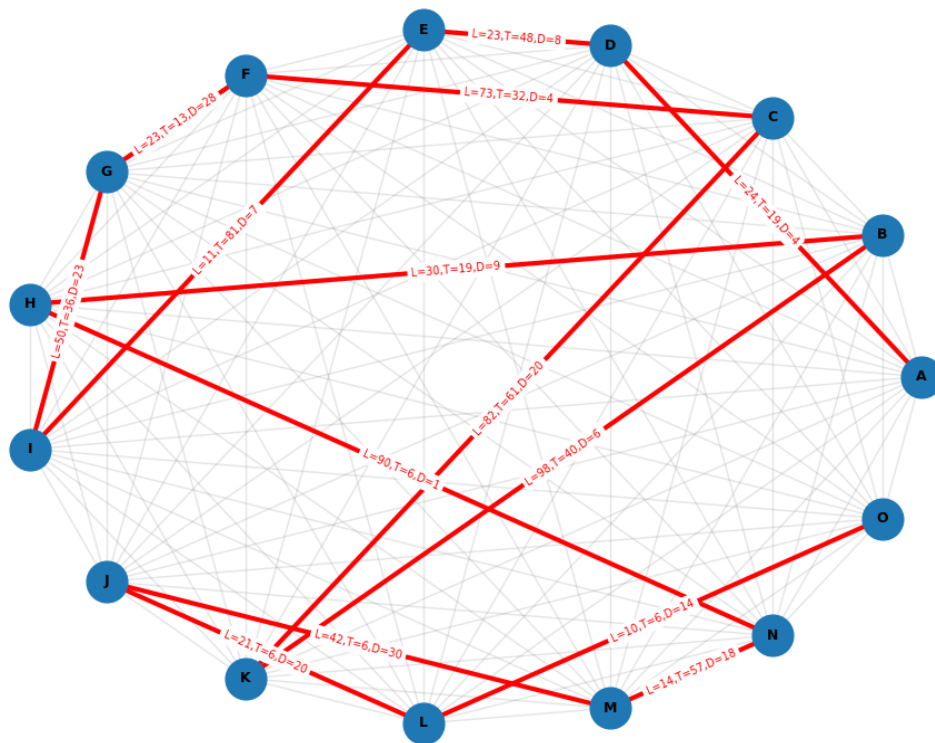


Рисунок 2 – Визуализация наилучшего по всем критериям маршрута

Входные данные задаются матрицами L, T и D, элементы которых формируются псевдослучайным образом в заданных диапазонах. Это позволяет моделировать разные условия транспортной сети при сохранении общей структуры задачи. Каждое решение представляет собой перестановку узлов между фиксированными точками A и O, что обеспечивает однократное прохождение всех промежуточных узлов и корректное сравнение альтернативных маршрутов. Оценка качества маршрутов выполняется путем вычисления суммарного расстояния, времени и сложности, после которой формируется множество Парето-оптимальных решений.

Выполненная реализация алгоритма дождевых червей предполагает использование популяции фиксированного размера, заданного числа поколений и операторов воспроизводства и мутации. Упорядоченное скрещивание сохраняет корректность перестановки, а мутация на основе распределения Коши предотвращает преждевременную сходимость и способствует поддержанию разнообразия решений.

Полученные результаты демонстрируют устойчивое и предсказуемое поведение алгоритма дождевых червей при решении многокритериальной задачи оптимизации маршрутов возврата товара. Алгоритм корректно формирует множество недоминируемых решений, отражающее баланс между расстоянием, временем и сложностью маршрута. В ходе экспериментов наблюдалось постепенное сужение пространства поиска и концентрация решений в области Парето-фронта, что подтверждает способность EWA эффективно сочетать глобальный и локальный поиск. Характерная особенность

алгоритма заключается в том, что на ранних этапах он генерирует широкий набор разнообразных маршрутов, а по мере увеличения числа поколений усиливается локальный поиск вокруг наиболее перспективных вариантов, что обеспечивает высокую стабильность результатов.

Преимущество *EWA* в контексте данной задачи заключается в особенностях его поискового поведения. Механизм «одионого» воспроизводства способствует формированию стабильных локальных улучшений, в то время как механизм комбинированного воспроизводства обеспечивает обмен фрагментами маршрутов и создает условия для появления принципиально новых вариантов. Такой подход позволяет одновременно исследовать пространство решений и сохранять найденные «хорошие» маршруты. В многокритериальных задачах, где требуется находить баланс между несколькими противоречивыми критериями, это особенно важно, поскольку поддержание разнообразия обеспечивает более равномерное заполнение Парето-фронта и уменьшает вероятность доминирования одного критерия над другими.

Несмотря на положительные результаты, модель имеет ряд ограничений. Используемые матрицы расстояний, времени и сложности являются синтетической, что позволяет изучать лишь общие свойства алгоритма, но не отражает всех особенностей реальных логистических сетей. Размер задачи ограничен пятнадцатью городами, что связано с ростом вычислительной сложности при увеличении размерности пространства перестановок. Кроме того, параметры алгоритма выбирались эмпирически, и их настройка под конкретные условия может повлиять на достижимое качество решения. Модель не учитывает специфические логистические ограничения, такие как временные окна, доступность транспортных средств или стохастический характер условий на маршруте. Все это открывает возможности для дальнейших исследований и совершенствования предлагаемого алгоритма.

Таким образом, алгоритм дождевых червей способен эффективно решать многокритериальную задачу оптимизации маршрутов возвратных потоков, формируя устойчивое множество недоминируемых решений и обеспечивая баланс между расстоянием, временем и сложностью. Полученные результаты подтверждают перспективность применения *EWA* в задачах логистики, что создаёт основу для дальнейшего расширения модели и её адаптации к реальным условиям транспортных систем.

*Работа выполнена в рамках государственного задания, проект №FSWF-2023-0012.*

#### Литература

1. Эльканова Е. А. Развитие электронной коммерции как фактор использования современных подходов в логистических маршрутах // Вестник евразийской науки. 2025. Т. 17. № 4. С. 1-13
2. Earthworm optimisation algorithm: a bio-inspired metaheuristic algorithm for global optimisation problems. Authors: Gai-Ge Wang; Suash Deb и др. International Journal of Bio-Inspired Computation, 2018 Vol.12 No.1, pp.1 - 22. DOI: 10.1504/IJBIC.2018.093328

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПЛОЙТОВ**

Цифровая инфраструктура в настоящее время охватывает все сферы жизни человека. В условиях цифровой экономики ни одна операция не проходит без отражения в онлайн-пространстве, почти у каждого человека существуют аккаунты в социальных сетях, мессенджерах и множестве других сервисов, в которых находится, в том числе, и чувствительная информация, коммерческие тайны, данные биометрии. Учитывая высокие риски при попадании подобных данных в руки злоумышленников, обеспечение информационной безопасности становится критически важной задачей для разработчика. Несмотря на это, ежедневно публикуются сообщения информационных агентств об атаках на компании, государственные информационные системы и обычных пользователей, часто в таких атаках используются не изощрённые методы или модели дешифровки, взлома, а способы поиска и эксплуатации уже имеющихся в программных продуктах уязвимостей, иначе называемые, эксплойты.

Эксплойты представляют собой программные продукты, части кода или наборы команд, направленные на эксплуатацию ошибок или слабых мест в информационной системе. По данным Verizon Data Breach Investigations Report 2024, более 80% утечек данных связаны именно с наличием уязвимостей в системах и эксплуатацией их посредством эксплойтов [1, 13 с.], среднее же время на исправление критических ошибок составляет 55 дней [1, 21 с.], что является значительным сроком в условиях BANI-мира. За это время один удачный эксплойт может парализовать работу целой отрасли – как это произошло в случае с атакой на американскую нефтедобывающую компанию Colonial Pipeline в 2021 году. При этом, всё большее число уязвимостей находится не стандартным программным обеспечением или человеком, а с помощью применения специально обученных больших языковых моделей (LLMs): они позволяют в десятки раз быстрее проанализировать код программы любого масштаба на наличие уязвимостей или возможных недостатков в защите. Однако, при реализации определённых видов эксплойтов используются и иные модели.

Наиболее простыми и известными эксплойтами на современном информационном пространстве являются программы, обеспечивающие переполнение буфера. Такие программные продукты обеспечивают запись данных за пределы выделенной памяти и перезаписывают адреса возврата. Подобные эксплойты просты в реализации, однако, малоэффективны при использовании новейших операционных систем с рандомизацией адресного пространства (ASLR) и технологией DEP, которые полностью контролируют запись данных программы в определённые области и рандомизируют их.

Использование же искусственного интеллекта в данном случае может ограничиваться только органичным встраиванием вредоносного кода в области программы. Для этого наилучшим образом подходят большие языковые модели, такие как GPT-4.5 или Claude 3.7 Sonnet.

Для обхода представленных методов защиты операционной системы были созданы ROP-цепочки, которые используют не новые фрагменты кода, внедряемые в уязвимое программное обеспечение, а существующие в памяти, и с помощью них строят цепочку атаки. Такие эксплойты требуют значительных знаний в области системного программирования и навыков анализа бинарного кода, порой могут сталкиваться также с проблемами при работе с продвинутыми методами ASLR, что подтверждается в статье Григорьева М.П. [2, 88 с.]. Являются гораздо более эффективным средством по сравнению с классическим переполнением буфера. В традиционных методах датамайнеры вручную или с помощью узкоспециализированного программного обеспечения исследуют бинарный код на предмет необходимых инструкций (таких как `rop`, `ret`, `mov` в Ассемблере), называемых гаджетами, искусственный же интеллект, а конкретно, обученные на инструкциях Ассемблера NLP-модели, могут автоматически находить в объёмном коде необходимые гаджеты, даже если этот код обфусцирован или оптимизирован, что при классическом методе значительно усложнило бы работу. Этим применение моделей машинного обучения не ограничивается. Полные варианты их применения в ROP-цепочках представлены на рисунке 1.

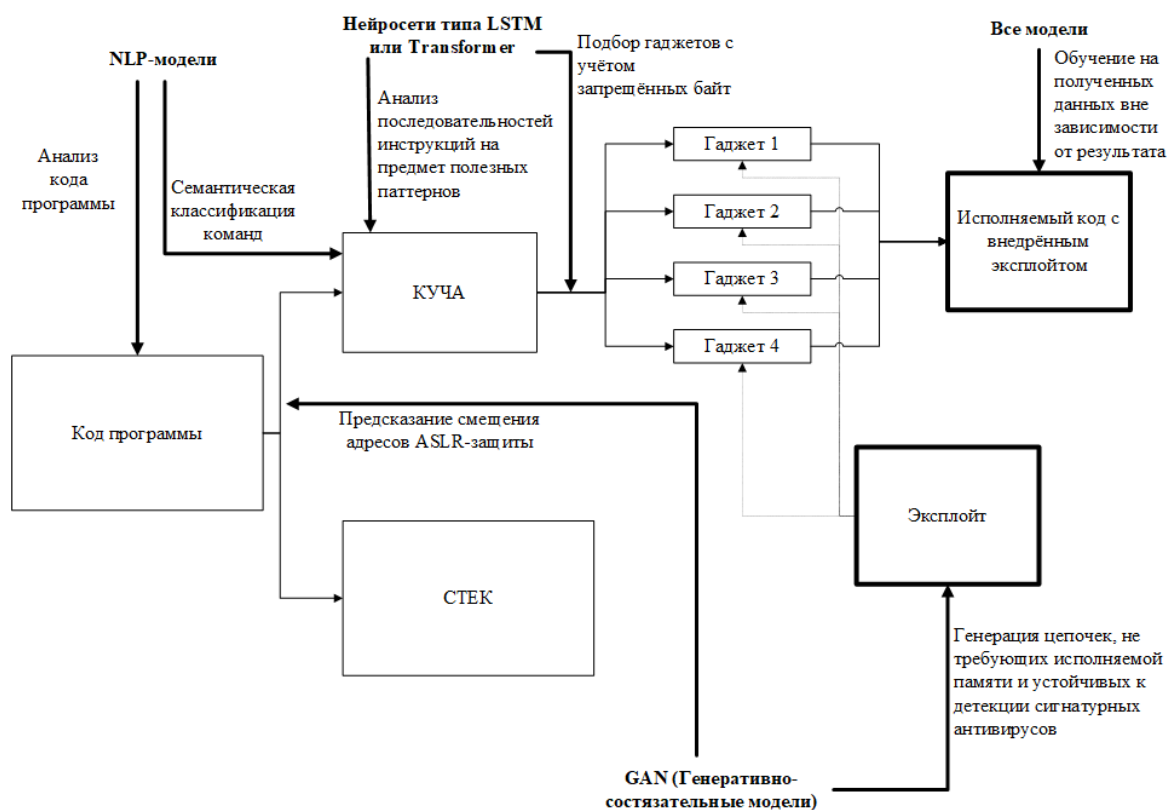


Рисунок 1 – Применение искусственного интеллекта при реализации ROP-цепочек

Наилучшим примером, реализующим представленные на рисунке 1 действия, является DeepExploit, самообучающаяся нейронная сеть, специально созданная для автоматизированного построения ROP-цепочек и зарекомендовавшая себя в сегменте белого хакинга.

Ещё одним примером эффективных эксплойтов являются Use-After-Free (UAF) эксплойты. Они эксплуатируют динамические области памяти (кучи), которые временно или постоянно высвобождаются в ходе выполнения программы и позволяют исполнять произвольный код. Управление структурой памяти для большинства программистов уровня junior или middle является довольно сложной задачей. Использование же моделей искусственного интеллекта здесь значительно менее выражено, с помощью генеративных и больших языковых моделей можно создавать новые исполняемые части кода или анализировать код существующий. По той же стратегии применяются различного рода нейронные сети и при «уязвимостях нулевого дня», для них быстро находятся и создаются эксплойты, способные без особых проблем вторгаться в код программы. Однако, и ценность от реализации подобных эксплойтов гораздо ниже, так как пользовательские данные и важная информация редко заносятся в большом объёме на старте эксплуатации системы, поэтому злоумышленники в большей степени привержены цели оставить себе в системе своеобразный бэкдор, нежели в полной мере эксплуатировать определённую уязвимость.

Атаки на цепочку поставок (обновлений) в среде эксплойтов занимали и занимают отдельную нишу. Многие компании, старающиеся максимально защитить свой программный продукт, часто совсем не обращают внимания на защиту процесса его обновления, чаще всего защита его отводится либо облачному сервису поставок, либо магазину приложений, с которым есть договорённость на распространение программы. В таком случае злоумышленники могут использовать обновления как инструмент внедрения в программный продукт кода, эксплуатирующего старую или появившуюся после обновления уязвимость. Такой код внедряется в сами обновления или в специализированные библиотеки. Искусственный интеллект на данном этапе позволяет как анализировать программный код, так и разрабатывать средства эксплуатации найденных уязвимостей. При этом, по заверениям современных учёных, он может это делать даже в защищённом коде и при отсутствии публичных примеров реализации похожих программ.

Отдельным способом применения моделей машинного обучения является использование их в процессе передачи эксплойтов адресату. В современном мире, согласно исследованию Харламова П.С., Харламовой О.Е. и Лавровой Е.В. [3, 170 с.], при реализации фишинговых сообщений и при нахождении точных координат цепочки обновлений больше не нужно быть программистом или маркетологом, генеративные модели могут создать практически любой текст, код, адаптировав его под конкретного человека, программу или, даже, область памяти устройства. В отредактированном виде его практически невозможно распознать. И это, по сути, ещё один риск в области использования

эксплойтов в современном мире.

Нейронные сети используются не только для того, чтобы реализовывать эксплойты, но и противостоять им. Практически во всех современных организациях уже сейчас считается обыденностью применение моделей машинного обучения при проведении тестирований информационных систем, что подтверждают Окунев Б.В., Лазарев А.И. и П.С. Харламов [4, 97 с.]. Такой подход значительно уменьшает как время тестирования, так и затраты на разработку системы, позволяя при этом найти самые глубокие и скрытые уязвимости в различных областях памяти. Некоторые же сети и инструменты, такие как Shodan, даже предлагают полноценный поиск внедрённых в код эксплойтов в режиме реального времени, их удаление и последующее исправление.

Исходя из всего представленного и анализируемого материала можно сделать вывод, что искусственный интеллект является весьма распространённым и полезным инструментом как для разработчиков, так и для хакеров различного рода, область его использования уже не ограничивается стандартной генерацией кода или текста, она гораздо шире. По сути, в сфере эксплойтов противостояние между собой уже ведут не столько люди и компании, сколько нейронные сети, порой, сами с собой, ведь одни и те же программные продукты могут использоваться всеми сторонами.

#### Список использованных источников

1. 2024 Data Breach Investigations Report [электронный ресурс] // Verizon business. 2024. с. 100 URL: <https://newsletter.radensa.ru/wp-content/uploads/2024/09/2024-dbir-data-breach-investigations-report.pdf> (дата обращения: 19.05.2025).
2. Григорьев М.П. Оценка возможности построения цепочек гаджетов для атак повторного использования кода в динамически подключаемых библиотеках Windows. // Кибернетика и информационная безопасность «КИБ-2024». 2024. С. 88-89.
3. Харламов П.С., Харламова О.Е., Лаврова Е.В. Идентификация пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуль многофакторной аутентификации для сложных экономических систем // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 5. С. 166-172. DOI 10.37882/2223-2966.2024.05.36.
4. Okunev B.V., Lazarev A.I., Kharlamov P.S. Virtualization of information object vulnerability testing container based on DeX technology and deep learning neural networks // Journal of Applied Informatics. 2021. Vol. 16, No. 4(94). P. 96-109. DOI 10.37791/2687-0649-2021-16-4-96-109.

*Ветров Д.А., преп.; Матюшенко Е.И., студ.  
(Смоленский филиал Президентской Академии)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДЫ ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ORANGE ДЛЯ РАБОТЫ С ГЕОДАННЫМИ**

В настоящее время, когда всё большее число стандартного кода для программ пишется уже не программистами, а генеративными моделями, особую популярность обретают облачные среды, что подтверждают Гавриленкова А.А. и Харламов П.С. [1, 3 с.], и среды визуального программирования и моделирования, такие как Orange. Orange – это фреймворк, разработанный Люблянским университетом (Словения), с открытым исходным

кодом, предназначенный для визуализации данных, машинного обучения и интеллектуального анализа информации. В нём предлагается огромное количество способов представления, подходящих для любой информации: в виде карты для геоданных, графиков и линейных зависимостей, в виде конкретного результата и диаграмм молекулярных взаимодействий, реакций и взаимосвязей. Представленные типы представления информации также свидетельствуют о крайне широкой области применения рассматриваемой системы. Ещё больше она расширяется благодаря возможности встраивать в работу среды скрипты, написанные на языке программирования Python, что наглядно подтверждает в своей статье Р.С. Наговицын [2, 44 с.].

Среди способов визуализации данных среды Orange присутствуют и различные карты, помогающие отобразить геоданные. Они не доступны в стандартной комплектации и подключаются посредством установки специализированного аддона Orange3 Geo (на момент написания статьи, его актуальная версия – 0.5). Он включает в себя отображение информации в 2 видах: обычной карты и карты Хороплета. На обычной карте данные отображаются в виде символов разных цветов и размеров, а карта Хороплета позволяет заштриховывать целые области (страны, регионы) в соответствии с отображаемой статистической переменной.

В текущем контексте необходимо также упомянуть что из себя представляют геоданные в целом и в среде Orange конкретно. В современном мире геоданные представляют собой информацию о местоположении и характеристиках объекта на поверхности Земли. Местоположение может задаваться как точными географическими координатами, так и названиями стран, улиц, областей, их географической кодировкой по FIPS, HASC и ISO 3166-1. Однако, при графическом моделировании геоданных чаще всего используют именно первый вариант ввиду большей точности. Orange с помощью специализированного метода геокодирования информации способен обрабатывать практически любые типы данных: координаты, большинство известных кодов стран; а также без проблем воспринимает названия стран, областей на английском и словенском языке (на момент актуальной версии системы 3.38.1). Это позволяет брать практически любую статистическую информацию, связанную с регионами и отображать её в рамках рабочей среды системы визуального моделирования. Для примера можно взять данные о состоянии преступности в Российской Федерации в Центральном федеральном округе (за исключением Москвы и Московской области ввиду большого различия в данных с остальными регионами (более 300%)) за январь-март 2025 года [3, 58 с.]. Для рисунка 1 были взяты данные об общем количестве преступлений в регионе в рассматриваемый период и карта Хороплета, коды регионов взяты по классификатору FIPS.

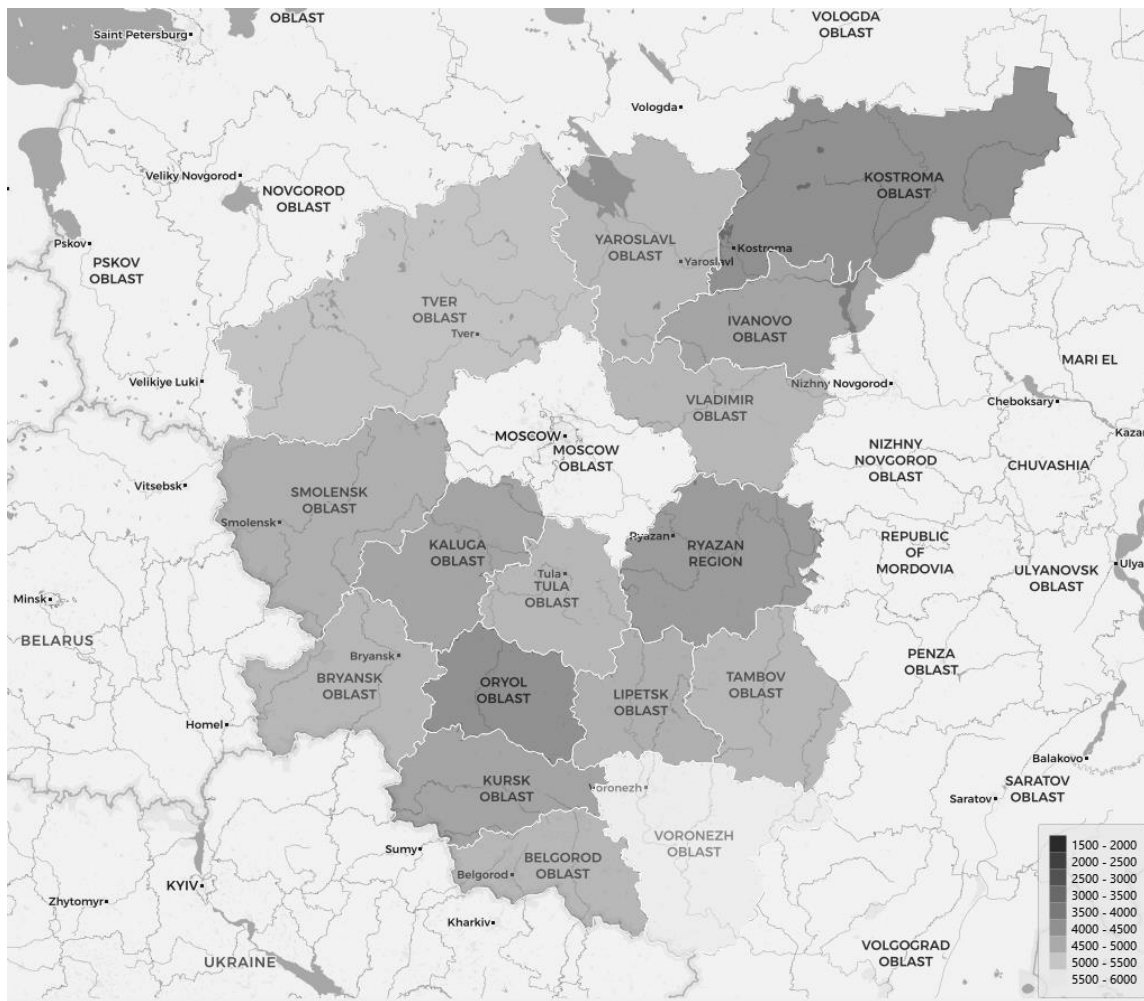


Рисунок 1 – Графическое представление геоданных в Orange с помощью карты Хороплета

Информация была корректно отображена на карте, что подтверждает возможность использования аддона для анализа геоданных. Полученные на рисунке 1 данные подходят для статистического анализа, однако, среда Orange с помощью дополнительных модулей и аддонов способна сама справиться с этой задачей: в фреймворке присутствуют 12 встроенных моделей машинного обучения, включая такие алгоритмы как KNN, SVM, Navies Bayes, логистическая регрессия, PCA, K-Means. При этом, возможно не только обучить и построить модель на основе табличных, графических данных или взаимосвязей, но и оценить эффективность модели с помощью инструментария «Test & Score». Пример его применения в виде сравнения эффективности алгоритмов Navies Bayes, логистической регрессии и Random Forest, наглядно описанными в работе Харламова П.С., Харламовой О.Е. и Лавровой Е.В. [4], для обучения нейронной сети на встроенных данных о пассажирах Титаника и взаимосвязи их выживаемости с возрастом, семейным положением и полом представлен на рисунке 2.

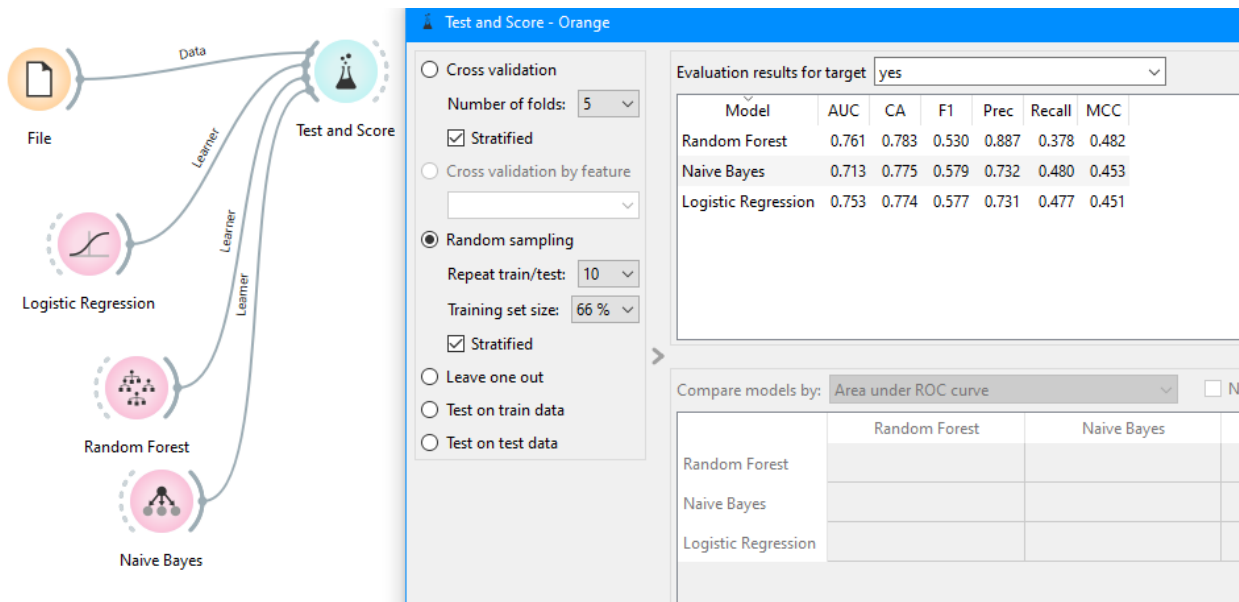


Рисунок 2 – Сравнение встроенных моделей машинного обучения в среде Orange

Геоданные в представленной модели могут анализироваться по такому же принципу. В целом, различные модули, представленные в стандартной или дополненной версии данного фреймворка могут осуществлять классификацию, кластеризацию данных, осуществлять регрессионный анализ и анализ временных рядов с помощью ARIMA Model. При этом, такие анализы не требуют практически никаких знаний в теории нейронных сетей и машинного обучения, так как создаются с помощью базового «конструктора», обычного для сред визуального программирования. К другим явным преимуществам Orange в области использования системы для анализа геоданных относятся возможности анализа геостатистики, создания сетевых графиков для оптимизации маршрутов на основе машинного обучения, интеграции с различными ГИС (в том числе, экспорт результатов в систему QGIS) и возможность совмещать геоданные с данными других типов в процессе анализа.

Конечно же, у подобной среды есть и свои существенные недостатки: она не может быть обучена на больших данных (более миллиона точек), которые чаще всего и собираются для анализа в области различных статистических показателей, связанных с географическим расположением или устройством, что подтверждается экспериментом, в котором были взяты 2 таблицы: с данными в 100 строк и в 2000 строк примерно одинаковой информации, в результате время загрузки и последующего анализа варианта 1 составило чуть больше 2 секунд, а второго – почти целую минуту (модели рисунка 2). Гидрологическим моделированием или межеванием территорий тоже заняться с помощью системы не получится ввиду отсутствия встроенных инструментов и невозможности полной интеграции самописных решений.

Таким образом, было выявлено, что среда визуального программирования Orange является хорошим вариантом для исследования взаимосвязей между различными геоданными, для моделирования карт и экономической статистики,

а также для машинного обучения и выявления взаимосвязей между ними. Основной перспективой фреймворка является его использование в обучающих и статистических целях ввиду присутствия определённых описанных ограничений.

#### Список использованных источников

1. Гавриленкова А.А., Харламов П.С. Возможности использования гибридного облака на предприятиях военно-промышленного комплекса // Информационные технологии, энергетика и экономика: XVIII Международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. 2021. С. 3-6.
2. Наговицын Р.С. Использование аналитической системы Orange для интеллектуального анализа здоровьесберегающих данных. // Актуальные вопросы юриспруденции, экономики и менеджмента, психологии и педагогики образования, физической культуры и спорта. 2022. С. 43-48.
3. Состояние преступности в России за январь-март 2025 года // Министерство внутренних дел Российской Федерации. ФКУ «Главный информационно-аналитический центр». 2025. с. 64 URL: <https://мвд.рф/reports/item/64450541/> (дата обращения: 21.05.2025).
4. Харламов П.С., Харламова О.Е., Лаврова Е.В. Идентификация пользователя на основе сиамских нейронных сетей как модуль многофакторной аутентификации для сложных экономических систем // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2024. № 5. С. 166-172. DOI 10.37882/2223-2966.2024.05.36.

*В.Н. Волкова, д. э. н., проф.; М.С. Максимов, асп.  
(СПбПУ Петра Великого. Санкт-Петербург),  
Ю.Ю. Черный, к.ф.н. (ИНИОН РАН. Москва)*

## О ПРЕОБРАЗОВАНИИ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИЮ

При создании, проектировании искусственных устройств и систем важным видом познавательной деятельности является *отражение* и *воспроизведение* действительности, введении видов, мер и способов сравнения исследуемых объектов и процессов. В работе исследуются существующие представления о процессе отражения, восприятия и представления действительности, предлагается формализованное представление этих процессов и способы преобразования данных в семантическую или прагматическую информацию для принятия решений.

Проблема восприятия информации имеет свои аспекты в психологии и философии. В психологии восприятие связано с формированием перцептивных образов в процессе познания окружающего мира. В философии восприятие является основой всего познания, единственным способом непосредственного получения знания.

В философии существует противопоставление сенсуализма (от лат. *sensus* – чувство), *чувственного познания*, и рационализма (от лат. *ratio* — разум), *рационального (логического) познания*.

**Чувственное познание** осуществляется в форме *ощущений, восприятий и представлений*. В чувственных образах фиксируется преимущественно *внешняя сторона явлений*.

При **рациональном (логическом)** познании происходит *выявление общего, существенного* с помощью процесса познавательной деятельности, *логического мышления*. Механизмами рационального познания являются *сравнение, отвлечение, обобщение, уподобление* и т. п. Основными формами мышления являются: *понятие, суждение, умозаключение*.

Предлагается формализованное представление этих процессов, на основе информационной теории А.А. Денисова [1, 2], помогающее глубже понять сложности проблемы преобразования данных в информацию и возможные подходы к ее решению. Основными формами отражения в теории А.А. Денисова является: *чувственное отражение* в форме *чувственной информации J* (или *информации восприятия*), и *логическое отражение*, в результате которого формируется *логическая информация H* (или *информационный потенциал*).

Поскольку чувственное отражение протекает во времени и в пространстве, то информация *J* представляет собой сумму потоков информации от отдельных частей материального объекта или от совокупности материальных объектов, формирующих информационное поле вокруг воспринимающего его измерителя.

При отражении материального объекта или поля некоей произвольной замкнутой вокруг него поверхностью полная информация составит из суммы потоков информации, приходящихся на единицу  $dS$  площади этой поверхности, т.е. из  $\mathbf{O} = dJ/dS$ . В таком случае должно иметь место преобразование типа теоремы Гаусса, являющейся математическим выражением философского положения о познаваемости мира:

$$M = \oint_S \mathbf{O} dS \quad \text{или} \quad J_c = \oint_S \mathbf{O} dS, \quad (1)$$

где  $\mathbf{O}$  — вектор интенсивности потока существования (отражения); интеграл берется по замкнутой поверхности  $S$ , охватывающей изучаемое явление или объект.

В работах А.А. Денисова обоснован также закон логического отражения. Сопоставление законов чувственного и логического отражения приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Законы чувственного и логического отражения

Закон чувственного отражения	Закон логического отражения
$J = R_k M = \oint_S \mathbf{O} dS,$ $\operatorname{div} \mathbf{O} = R_k \rho$ <p>где <math>\mathbf{O}</math> – вектор интенсивности потока существования (отражения);  <math>\rho = dM_i/dV</math> – объемная плотность <math>i</math>-го материального свойства;  <math>R_k</math> – информационная проницаемость среды.  В общем случае <math>R_k</math> зависит от <math>\mathbf{O}</math>.</p>	$\mathbf{H} = R \mathbf{M} = \oint_S \mathbf{E} dS,$ $\operatorname{div} \mathbf{E} = R \rho$ <p>где <math>\mathbf{E}</math> – вектор напряженности поля логики;  <math>\rho = dM_i/dV</math> – объемная плотность <math>i</math>-го материального свойства;  <math>R = R_k R_o</math>; – безразмерная константа, характеризующая логическую реакцию (поведение) отражающего объекта (субъекта) на поток <math>\mathbf{O}</math>.  В общем случае <math>R_o</math> зависит от <math>\mathbf{O}</math>.</p>

В таблице принято наиболее распространено представление математической теории поля в сферических координатах и в изотропной среде. Интерес могут представлять и результаты, получаемые в частных производных [6, 7 и др.].

В работах [1, 2] показана зависимость  $\mathbf{H}$  от  $\mathbf{J}$ .

$$\mathbf{E} = -\text{grad } H; H = \int_r \mathbf{E} dr. \text{ Тогда } \mathbf{H} = R \mathbf{M} \Rightarrow \mathbf{H} = \oint_s \mathbf{E} d\mathbf{S} \Rightarrow \mathbf{H} = f(\mathbf{J}).$$

Поскольку существует два закона отражения действительности, то можно получать информацию об объектах и ситуациях на основе обоих законов.

Например, можно воспринимать яблоко на основе отражения его свойств (параметров) – запах, вкус, осязание, измеряемых количественно или экспертно нашими органами чувств или соответствующими рецепторами робота (или другой формы искусственного интеллекта), и делать заключение об объекте на основе алгоритма, если такой существует (чувственное восприятие). А можно на основе зрения увидеть объект, и понять, что он означает, если есть воспринимающее пространство, имеющее представление об объектах такого рода. В частности, увидеть и сразу понять, что это яблоко (логическое отражение).

В философии в теории познания выделяют две формы взаимосвязанные формы познания: а) от чувственного к логическому; при этом чувственное познание оказывает воздействие на логические образы; б) от логического к чувственному, на основе влияния логических образов на чувственные. При этом нередко чувственное познание стимулируется какой-то целью, т.е. рациональным, логическим познанием

В качестве аналога *содержания, смысла* в теории информационного поля введено понятие «*информационная сложность*», которая определяется пересечением (логическим произведением, а в частных случаях – декартовым произведением)  $\mathbf{J}$  и  $\mathbf{H}$

$$\mathbf{C} = \mathbf{J} \cap \mathbf{H} \text{ или } \mathbf{C} = \mathbf{J} \times \mathbf{H}. \quad (2)$$

В соотношении (2) чувственное и рациональное (логическое) отражения объединены в их общий результат — *знание*.

В компьютерной информатике этим преобразованиям соответствует преобразование: *данные* ( $\mathbf{J}$ )  $\rightarrow$  *информация* ( $\mathbf{H}$ )  $\rightarrow$  *знания* ( $\mathbf{C}$ ).

При управлении социально-экономическими ситуациями необходимо моделирование процесса преобразования данных  $J$ , полученных в результате чувственного отражения (*ощущения, восприятия и представления*) в информацию  $H$ , (логическую, семантическую или прагматическую, необходимую для принятия решений), которая в философии соответствует **логическому (рациональному)** познанию (основные формы – *понятие, суждение, умозаключение*).

*Представление* как *чувственно-наглядный образ предмета*, воздействовавшего на органы чувств в прошлом, отражает то, что человек сохранил в памяти после того, как когда-то раньше узнал предмет. Сумма исходных *представлений*, подвергаясь обработке в некотором особом пространстве (типа естественного или искусственного интеллекта), обобщению и абстракции, может преобразовываться в *понятие*.

В живых организмах такое внутреннее пространство, вероятно, «выращивается» на основе накопления опыта наблюдений логических взаимодействий в природе и обществе. Например, в первой работе А.А. Денисова [1] это демонстрируется на основе отражения взаимодействия

зайца и лисы. В этом «выращиваемом» пространстве постепенно формируются образы, понятия, язык, благодаря чему становится возможным логическое отражение реальных процессов.

В философии развивается теория, объясняющее формирование подобного пространства — *теория социальных эстафет*, разработанная М. А. Розовым [3]. Основная идея теории заключается в том, что формирование пространства социальной реальности носит волноподобный характер, в виде социальных эстафет, своеобразных волн, которые, распространяясь в определённой среде, постепенно включает в пространство всё новые компоненты. Распространение основывается на способности человека действовать по образцам, некоторым заданным моделям. Эстафеты проявляются как некоторое знание, которое передаётся от поколения к поколению. Социальные эстафеты являются базовыми механизмами социальной памяти. Например, человек учится говорить, воспроизводя образцы живой речи; усваивает правила логики на базе образцов рассуждения, находясь в среде других людей, перенимает формы их поведения, трудовые навыки, типы реакций на события.

В искусственно создаваемых системах, возможно, модель такого пространства можно «вырастить» на основе обучаемой нейронной сети, используя аналог понятия «гиперсеть», предложенного Константином Анохиным при объяснении деятельности мозга живого организма [4].

Проблемой является – как осуществляется преобразование **J** в **H**, получение семантической / информации, информационного потенциала **H**.

Именно эту задачу пытаются решать в форме задачи извлечения знаний из данных с помощью приемов и методов прикладной статистики.

В теории А.А. Денисова «выращиваемое» пространство названо *информационным полем* [1], поскольку существуют исследования А.Б. Когана, доказывающие, что мышление осуществляется не нейронами, а полями [5].

При управлении социально-экономическими ситуациями необходимо моделирование процесса преобразования данных для поиска компромисса как временного подвижного (гибкого) состояния равновесия, меняющегося в зависимости от соотношения прошлого опыта и текущей практики. Перспективным представляется исследование этого пространства методами теории поля. А для практических приложений в теории А.А. Денисова [2 и др.] предложены детерминированные и вероятностные оценки *J* и *H*.

При детерминированном способе

$$J = A/\Delta A, \quad (3)$$

где *A* – общее количество каких-либо компонентов, воспринимаемых измерительными приборами или нашими органами чувств,  $\Delta A$  – «квант», с точностью до которого нас интересует воспринимаемая информация (в физике – это разрешающая способность прибора).

Для преобразования *J* в *H* предлагается два способа [2]:

Детерминированная мера, обобщающая способы усреднения в физике, для чего вводится параметр  $\gamma$ , который может выбрать постановщик задачи

$$H = \sqrt[\gamma]{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i^\gamma}, \quad (4)$$

где  $J_i$  — результаты измерения  $A_i$  согласно (3);  $n$  — объем понятия, т. е. число, охватываемых понятием объектов;  $\gamma$  — параметр логики усреднения, при различных значениях которого получаются различные выражения для определения  $H$ . При  $\gamma = 1$  получается среднеарифметическое усреднение соответствующее основному закону классической логики Аристотеля, согласно которому *собственная сущность (суть) системы обратна объему понятия  $n$  о ней  $H = J/n$* . При других значениях  $\gamma$  получаются: среднегеометрическое ( $\gamma = 0$ ), среднегармоническое ( $\gamma = -1$ ). Выбор  $\gamma$  зависит от конкретной задачи, исследуемой ситуации.

Вероятностная оценка выводится из теории поля:

$$H = \int f(J_i) dJ_i \Rightarrow H = \sum_{i=1}^n q_i J_i = - \sum_{i=1}^n q_i \log p_i, \quad (5)$$

где  $p_i$  — вероятность события.

В случае использования информации для достижения цели  $p_i$  — вероятность недостижения цели или степень нецелесоответствия;  $q_i$  — вероятность использования элемента информации.

При  $q_i = p_i$  олучается  $H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$ , т. е. мера К. Шеннона.

Для прагматической информации

$$H_u = - \sum_{i=1}^n q_i \log(1 - p_i'), \quad (6)$$

где  $p_i'$  — вероятность достижения цели, степень *целесоответствия*.

В частном случае  $p_i$  может быть статистической вероятностью. Однако в общем случае вероятность достижения цели  $p_i'$  и вероятность использования оцениваемой компоненты (свойства) при принятии решения  $q_i$  могут иметь более широкую трактовку и использоваться не в строгом смысле с точки зрения теории вероятностей и математической статистики, а характеризовать единичные явления, события.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование представлений о процессе отражения, восприятия и представления данных об объектах и процессах, преобразовании их в семантическую или прагматическую информацию для принятия решений и формализованное представление этих процессов на основе информационной теории А.А. Денисова помогает глубже понять сложности проблемы преобразования данных в информацию и возможные подходы к ее решению.

Рассмотренный анализ позволяет сделать вывод, что этот процесс протекает в форме взаимосвязи и взаимодействия познающего субъекта и познаваемого объекта. Представляется перспективным применение для моделирования процесса преобразования чувственного отражения данных и логическую информацию диалогического подхода в концепции М.М. Бахтина

[6], метода постепенной формализации на основе переключения гуманитарного и формального способов мышления [7] и концепции компьютерного имитационного моделирования А.А. Емельянова [8].

#### Список литературы

1. Денисов А. А. Теоретические основы кибернетики: Информационное поле. — Л.: ЛПИ, 1975. — 40 с.
2. Денисов А.А. Современные проблемы системного анализа: учебник. 3-е изд. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. — 304 с.
3. Розов М.А. Теория социальных эстафет и проблемы эпистемологии. — Смоленск: Смол. гор. тип., 2006. — 439 с.
4. Анохин К.В. Искусственный интеллект для науки и наука для искусственного интеллекта / К.В. Анохин, К.С. Новоселов, С.К. Смирнов и др. // [Вопросы философии](#). М.: Изд-во [ФГБУ «Издательство "Наука" \(Москва\)»](#), 2022. № 3, с. 93-106.
5. Коган А.Б. Основы физиологии высшей нервной деятельности: учеб. для биол. спец. Вузов. —2-е изд., перераб. и доп. — М.: : Высш. шк., 1988. — 367 с.
6. Дьяконов Г.В. Основы диалогического подхода в психологической науке и практике. — Кировоград: [б. и.], 2007. — 847 с.
7. Волкова В.Н. Постепенная формализация модели принятия решений. — СПб.: Изд-во Политехн. университета, 2006. —120 с.
8. Компьютерная имитация экономических процессов / А. А. Емельянов, Е. А. Власова, Р. В. Дума, Н. З. Емельянова; под ред. А. А. Емельянова. М.: Маркет ДС, 2010. 464 с

*М.С. Воробьев, асп.; В.И. Бобков, д.т.н., проф.; М.В. Черновалова, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ЦИФРОВИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЁТА ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНОГО ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ**

Эффективное энергообеспечение процессов переработки рудного фосфатного сырья требует комплексного подхода к организации электроснабжения приемников агломерационной линии и рационального использования тепловой энергии в зоне горения шихты. Повышение эффективности энергозатрат в агломерационном производстве путём разработки научно-методических вопросов нормирования, прогнозирования и оптимизации расхода электроэнергии.

Теплотехнические процессы при переработке рудного фосфатного сырья включают процесс агломерации, дробления и сепарации готового продукта. Цифровизированный расчёт позволяет подготовить фосфатное сырьё и режим работы оборудования, участвующего в процессе обжига, таким образом, чтобы обеспечить эффективное проведения последующей стадий переработки с получением конечного целевого продукта – жёлтого фосфора [1]. Контроль всех технологических параметров и использование подходящего оборудования позволит повысить энергосбережение и рационально расходовать природные ресурсы.

Удельный расход электроэнергии, расходуемый на возгонку фосфора из сырой руды, составит 16400 кВтч/т, из агломерированного концентрата 14200 кВтч/т, из окатышей 14600 кВтч/т. По данным, действующим фосфорных заводов необходимо производство более 17000т/год для покрытия запросов

оборонной и химической промышленности, металлургии. Для покрытия потребностей годового выпуска жёлтого фосфора потребуется:

1. Агломерата из сырой руды – 290250 т;
2. Агломерата из концентрата 266700 т;
3. Окатышей 273600 т.

Таким образом, удельный расход электроэнергии при работе на агломерационной руде составит:

$$W_{1o} = W + W_{1c} + W_{2c} + W_{oz} = 15400 + 1000 + 1500 + 500 \\ = 19400 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т};$$

При работе на агломерированном концентрате:

$$W_{2o} = 14200 + 900 + 1400 + 400 = 16900 \text{ кВт} \cdot \text{ч/т}$$

Потребление электроэнергии на одну технологическую линию составит:

$$\mathcal{E}_1 = \Pi_1 \cdot W_{1o} = 18500 \cdot 19400 = 261,9 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч/т}$$

$$\mathcal{E}_2 = \Pi_2 \cdot W_{2o} = 15600 \cdot 19400 = 261,9 \text{ млн. кВт} \cdot \text{ч/т}$$

Обеспечение удельной производительности машины зависит от её площади спекания, которая должна составлять 82,6 м<sup>2</sup> для участка спекания и 50 м<sup>2</sup> для участка охлаждения спека. Расчёт и проектирования агломерационной машины с площадью 50 м<sup>2</sup> требует значительного усложнения технологической схемы. Это связано с тем, что получаемый спек имеет температуру 800-1000 °С и перед охлаждением должен быть подвергнут дроблению [2]. Для дальнейшего охлаждения агломерата необходим линейный охладитель с площадью 125 м<sup>2</sup>. Таким образом суммарная рабочая площадь обжиговой машины составит 175 м<sup>2</sup>, что потребует использования большого количества электрических двигателей [3].

Для обеспечения движения спекательных тележек, охладителей и работы вакуум-камер, необходимо использование большого количества электрических двигателей мощностью до 85 кВт. Электропечные установки относятся ко второй категории потребителей. Но силовое электрооборудование, подача инертного газа – азота, вентиляцию помещений и охлаждение элементов печи, относится к первой особой категории. Перебои электроснабжения могут привести к массовому недоотпуску продукции, повреждению обжигового оборудования и создают угрозу для жизни работников предприятия. Электроснабжение должно обеспечиваться двумя независимыми источниками, а для особой второй категории – ещё от третьего резервного источника. В рассматриваемом расчёте для резервирования используется дизель-генераторная установка (рисунок 1).

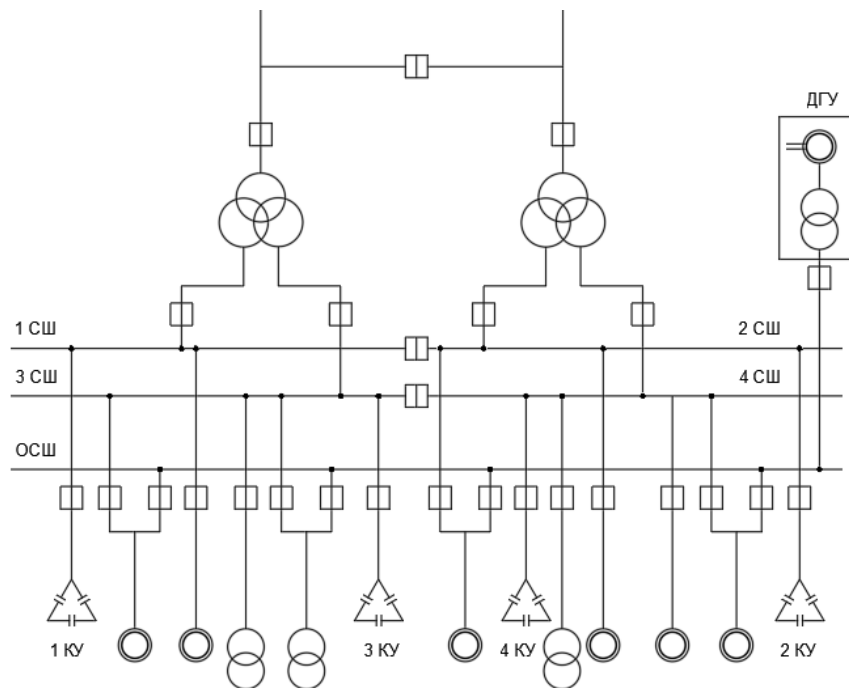


Рисунок 1 – Принципиальная схема электроснабжения агломерационного участка

Теоретическая значимость численных результатов расчёта позволит комплексно организовать рациональное использование тепловой энергии в процессе переработки рудного фосфатного сырья. Встроенная библиотека позволяет цифровизировать расчет, так как все технические параметры агломерационной печи, двигателей дымососов и пр. не требуют ручного ввода. Окно ввода данных для расчёта представлено на рисунке 2.

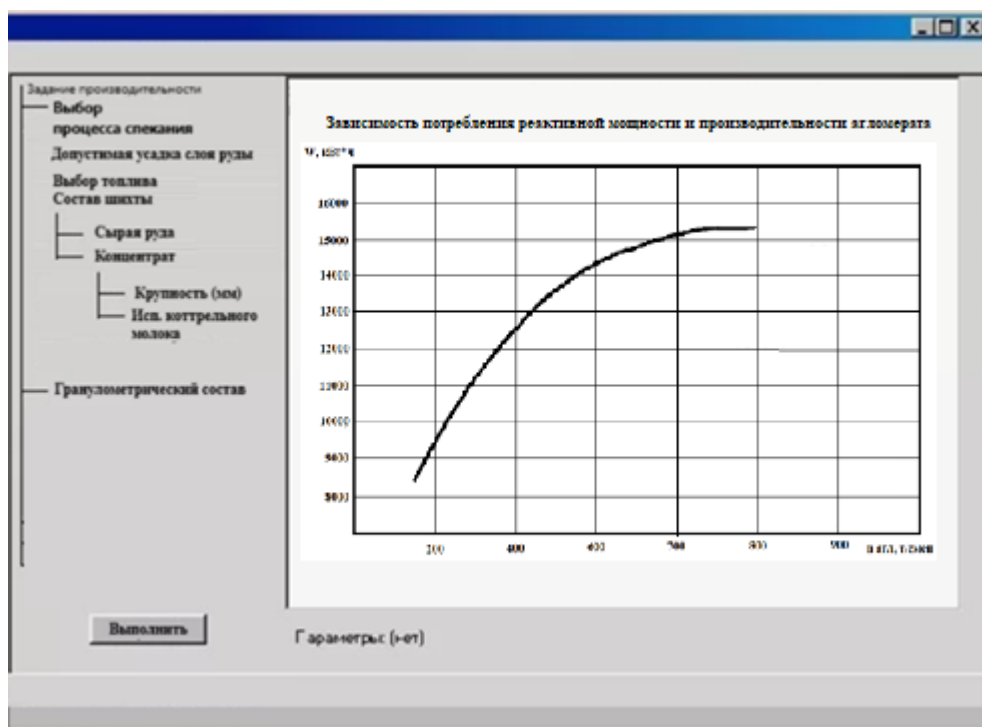


Рисунок 2 – Форма ввода данных

Для агломерации сырой руды или концентрата может быть рекомендована машина АКМ-312, а для обжига окатышей – ОКМ-108. На примере машины АКМ будет реализован теплотехнический расчёт для спекания и охлаждения агломерата из фосфатного сырья. Применяемые математические расчёты вошли в состав информационной системы, которая представлена блок схемой на рис. 3.

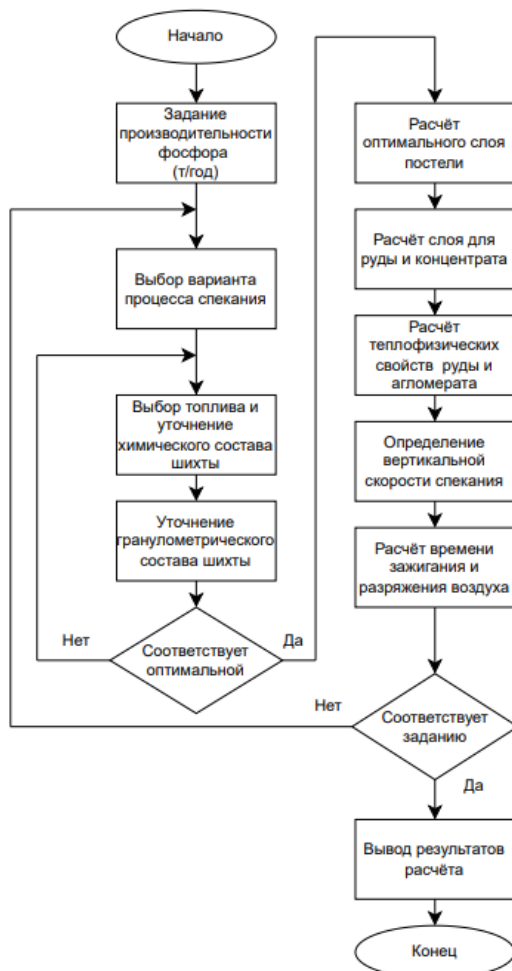


Рисунок 3 – Схема алгоритма расчёта параметров работы агломерационной машины

В процессе спекания происходит плавление силикатов и зёрен фторapatита в зоне горения твёрдого топлива. В процессе горения важным условием является постоянная прокачка воздуха через слой шихты с постоянным расходом. Скорость декарбонизации растёт с увеличением объёмов прокачиваемого воздуха, но лишь до определённого предела, после которого дальнейшее увеличение расхода воздуха не приводит к ускорению процесса. Применение управляемых устройств компенсации реактивной мощности – статических конденсаторных батарей, позволяет повысить устойчивость работы асинхронных электродвигателей при самозапуске. Это важно для узлов

нагрузки, где несколько двигателей одинаковой мощности связаны одним технологическим процессом.

Имитационная модель учитывает устойчивость работы асинхронных двигателей соблюдением требования, в котором при снижении напряжения вызывает избыток реактивной мощности, приводящий к повышению величины напряжения:

$$\frac{dQ}{dU} < 0$$

где  $Q$  – потребляемая реактивная мощность, кВар;  $U$  – номинальное напряжение, кВ.

Установлено, что в момент восстановления напряжения на зажимах электродвигателя возможны значительные броски вращающего момента на валу двигателя, которые могут привести к деформации обмоток двигателя. Это важно учитывать для механизмов с большой нагрузкой на валу, например, шаровых мельниц.

Алгоритм позволяет учитывать параметры машины и использовать их для расчёта потребления электрической энергии для выбора устройств компенсации реактивной мощности, используя данные по производительности и технологическим режимам работы оборудования. Это актуально по причине того, что в переходных режимах работы электродвигателей большая компенсация реактивной мощности может привести к снижению их устойчивой работы.

В процессе выполнения расчёта разработана информационная система, позволяющая цифровизировать расчёты технологических параметров скорости движения спекательных тележек и режимом работы дутьевых вентиляторов участков спекания и охлаждения. Программное обеспечение обладает удобным интерфейсом и удобна для оператора за счёт встроенных баз данных с основными параметрами электрических машин и иного оборудования агломерационных и обжиговых машин. Упрощение формы ввода данных снижает время, необходимое для расчёта и интеграцию полученных результатов в систему управления технологическим процессом агломерации.

1. Определены соотношения между электропотреблением, химическим составом шихты и производительностью, для обеспечения заданной потребности жёлтого фосфора;

2. Результаты численного расчёта могут быть практически применены при проектировании и модернизации агломерационных установок, что положительно скажется на экономических показателях проекта. Так же программа позволила точно моделировать энергозатраты на разных этапах переработки (дробление, обогащение, сушка и т.п.);

3. Интеграция в систему управления производственным процессом позволит осуществлять точное регулирование режимом работы электрооборудования агломерационной линии.

*Исследование выполнено за счет гранта*

*Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.*

#### Литература

1. Orekhov, V. A. Influence of Internal Heat Exchange Conditions on the Process of Thermal Decomposition of Carbonates in Phosphorus-Containing Raw Materials / V. A. Orekhov, V. I. Bobkov // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. – 2024. – Vol. 58, No. 4. – P. 1402-1407. – DOI 10.1134/S0040579525600378. – EDN QYBBIC.
2. Бобков, В. И. Анализ технологических показателей переработки фосфоритовой руды для электровозгонки желтого фосфора / В. И. Бобков, А. А. Быков, С. В. Незамаев // Успехи современного естествознания. – 2024. – № 3. – С. 100-107. – DOI 10.17513/use.38236. – EDN CXHNNX.
3. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н. Агломерация рудных материалов. Научное издание/ Коротич В.И., Фролов Ю.А., Бездежский Г.Н.- Екатеринбург: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. -400с.

*М.Ю. Воротилова, инженер; А.В. Устиненкова, ассистент  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **НЕЧЕТКАЯ СИТУАЦИОННО-ПРЕЦЕДЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВА ОКАТЫШЕЙ**

Сложные технические объекты (далее - СТО) объединяют большое количество разнородных инженерно-технических систем, включая производственные системы, оборудование, инженерные коммуникации, информационные системы, системы безопасности и пр. [1]. Примером объектов является теплофизическое оборудование, используемое в производственно-технологических процессах предприятий химической и нефтехимической промышленности (например, теплотехнологическая система производства окатышей из отходов добычи апатит-нефелиновых руд). Теплотехнологическая система объединяет обжиговые машины, зоны сушки и охлаждения, а также другие составляющие, которые в совокупности формируют многостадийный непрерывный процесс [2]. Такое оборудование при эксплуатации подвергается воздействию экстремальных внешних условий, таких как высокие температуры при обжиге окатышей, динамические внешние воздействия и пр. Возникновение даже небольших отклонений от установленных режимов работы таких устройств может привести к ухудшению качества производимой продукции (например, снижению прочности, деформированию и разрушению), что в рамках металлургической, химической и нефтехимической промышленности с учетом крупных масштабов производств приведет к негативным последствиям для экономики как предприятия, так и отрасли.

Для управления подобными объектами используются проблемно-ориентированные системы поддержки решений, в основе которых заложен принцип построения и реализации математических моделей СТО, применяемых для решения следующих задач:

- описание явлений и процессов в данных объектах;
- прогнозирование показателей СТО;
- осуществление поддержки в процессе принятия решений по управлению данными объектами.

Зачастую традиционные математические модели, используемые в составе проблемно-ориентированных систем поддержки решений, являются неэффективными ввиду значительных размеров и невозможности формирования необходимого объема информации для построения моделей, которые могли бы адекватно описывать ситуационные аспекты управления. В многозонных теплотехнологических агрегатах обжига окатышей эта проблема проявляется особенно остро, поскольку режимы работы зависят от сочетания текущих параметров загрузки, свойств шихты и состояния отдельных зон, что требует учета ситуации [3]. Данные обстоятельства привели к распространению различных ситуационных моделей, позволяющих определить эффективную стратегию управления СТО. Ситуационная модель включает множество ситуаций, каждая из которых характеризуется наличием совокупности определенных внутренних характеристик объекта и внешних условий его функционирования. Представление ситуационной модели производится в форме графа, где каждая вершина соответствует определенной ситуации, а дуга - управляющим решениям по переводу системы в различные состояния.

Однако применение только ситуационных моделей в управлении СТО является недостаточным, поскольку позволяет лишь фиксировать набор определенных ситуаций и предполагает, что управляющие воздействия выбираются исходя из статической структуры графа. В условиях теплотехнологических систем производства окатышей это приводит к потере значимой информации, поскольку реальные режимы работы агрегатов обжига зависят от динамического сочетания свойств шихты, тепловых градиентов, неравномерности нагрева и состояния отдельных зон. Ситуационная модель не успевает адаптироваться к быстро меняющимся комбинациям факторов и не отражает накопленный опыт эксплуатации оборудования. Поэтому применение только ситуационных представлений является недостаточным для получения корректных стратегий управления в реальных производственных условиях. В связи с тем, что в управлении теплотехнологическими линиями обжига окатышей часто возникают схожие по структуре ситуации, отличающиеся сочетанием параметров среды, шихты и оборудования. Для эффективного управления такими объектами важно учитывать как текущую ситуацию, так и исторические прецеденты.

В связи с этим при разработке ситуационных моделей, используемых в составе проблемно-ориентированных систем поддержки решений, для управления СТО предлагается применение прецедентного подхода. В отличие от традиционных ситуационных моделей, которые фиксируют лишь структуру возможных состояний и переходов, ситуационно-прецедентная модель может опираться на реальную историю функционирования СТО и использовать результаты успешных и неуспешных управляющих воздействий, примененных в схожих условиях. Такой подход снижает неопределенность при выборе управляющего решения, поскольку каждое новое состояние может быть сопоставлено с уже встречавшимися ранее случаями, а степень сходства между ситуациями позволяет уточнить прогноз поведения объекта и ожидаемый

эффект от управляющего воздействия. Основные этапы построения и адаптации нечетких ситуационных моделей на основе прецедентного подхода представлены на рисунке.

Для получения более полного набора данных о СТО с целью устранения неэффективности использования традиционных подходов, причиной которой является нехватка информации для принятия оптимальных решений, предлагается использовать информацию о состоянии внешней среды; характеристики объекта управления и ситуации, в которой он находится; результаты применения экспертных методов; а также результаты применения цифровых двойников.



Рисунок – Концепция управления сложными техническими объектами на основе нечеткой ситуационно-прецедентной модели

С учетом высокой сложности теплотехнологических систем производства окатышей, многозонности тепловых процессов, влияния качества шихты и нестабильности внешних условий, ситуационно-прецедентный подход представляется наиболее перспективным направлением развития алгоритмического обеспечения систем управления, поскольку обеспечивает накопление знаний, позволяющих не только оперативно реагировать на возникающие отклонения, но и постепенно улучшать стратегию управления за счет расширения базы прецедентов. Интеграция ситуационного подхода и механизма поиска аналогий создает основу для построения интеллектуальных систем поддержки решений, способных развиваться по мере накопления данных и совершенствования производственных практик.

В результате нечеткую ситуационно-прецедентную модель можно рассматривать как ключевой элемент будущих систем управления сложными техническими объектами теплотехнологического профиля, обеспечивающую

достижение более высокого уровня адаптивности, надежности и эффективности по сравнению с традиционными моделями.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ в рамках научного проекта № 25-21-00353.*

#### Литература

1. Иванов М.С., Фрасын П.Г., Комбаров Ю.С. Технические решения оптимального управления сложными многомерными динамическими объектами технологического оборудования // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 4(412). С. 185-189.
2. Бобков В.И., Быков А.А., Соколов А.М., Незамаев С.В. Исследование особенностей технологических схем производства агломерата и окатышей из сырой фосфоритовой руды и концентрата // Недропользование XXI век. 2024. № 2(103). С. 94-101.
3. Бобков В.И., Быков А.А., Орехов В.А., Незамаев С.В. Особенности теплотехнического расчета обжиговых и агломерационных машин для сырья фосфатных руд // Современные наукоемкие технологии. 2024. № 3. С. 10-15.

*Л.Ф. Вьюненко, к.ф.-м. н., доц.  
(СПбГУИТД, г. Санкт-Петербург)*

## **ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛИМЕРОВ**

Современные полимеры и композиты на их основе – материалы, обладающие уникальными физико-химическими характеристиками: высокая прочность, высокое звукопоглощение, низкий удельный вес, низкий коэффициент трения, биосовместимость и др. Это определяет их активное применение в различных отраслях промышленности и медицине. В частности, в текстильной промышленности из полимерных нитей и волокон производятся ткани как бытового, так и специального назначения, обладающие прочностью, эластичностью, лёгкостью, устойчивостью к воздействию микроорганизмов и износу. Актуальной задачей является разработка методики прогнозирования прочностных характеристик полимерных волокон и комплексных нитей, необходимая для разработки технологий их получения и определения режимов использования, а также обоснования норм показателей при разработке новых стандартов и технических условий. Существующие методики прогнозирования прочностных характеристик полимеров основаны главным образом на использовании эмпирических моделей, построенных по результатам натурального эксперимента в конкретных производственных условиях, реже – на теоретических моделях, применение которых ограничено их сложной структурой и использованием параметров, определение которых в реальных условиях затруднительно. Имитационное моделирование может быть эффективным инструментом исследования и прогнозирования физико-механических характеристик полимеров.

В работе анализируются основные этапы подготовки данных и построения имитационной модели процесса растяжения и разрыва пучка однородных полимерных волокон или некрученной комплексной полимерной нити, представленные на рисунке 1.

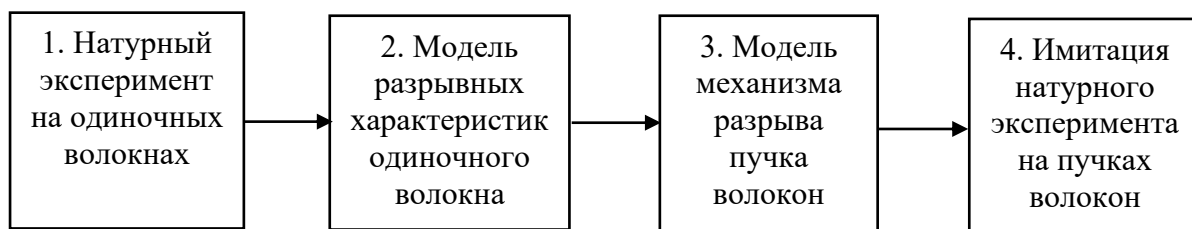


Рисунок 3 – Основные этапы подготовки данных и построения имитационной модели процесса растяжения и разрыва пучка волокон.

Для иллюстрации этапа подготовки данных использованы результаты натурального эксперимента по измерению усилия при разрыве  $P_p$  и относительного удлинения при разрыве  $\varepsilon_p$  элементарных нитей полиамида ПА-6 [1], представленные на рис. 2 в виде двумерной гистограммы относительных частот.

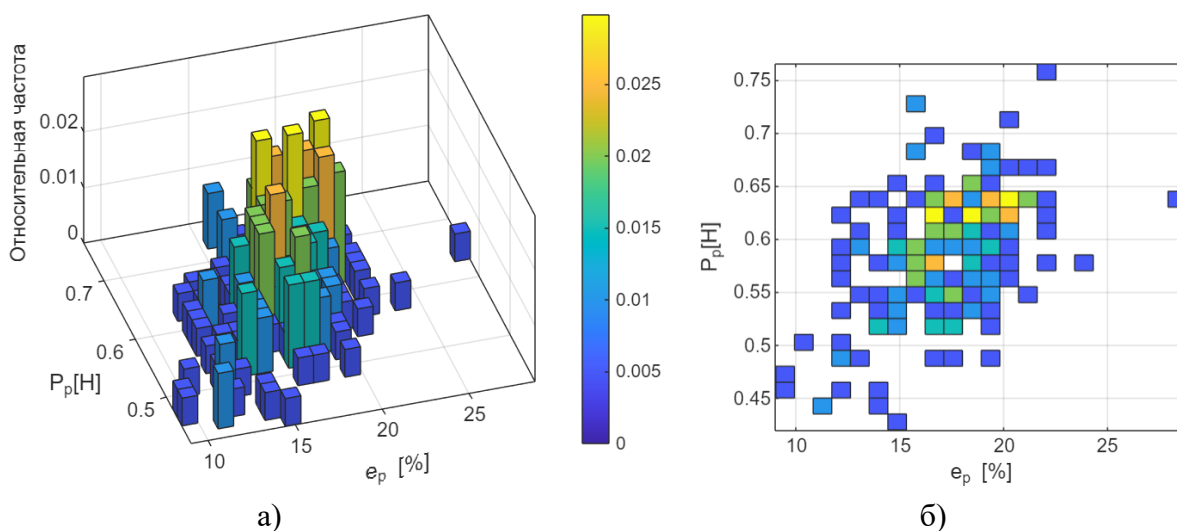


Рисунок 2 – Гистограмма относительных частот по результатам измерений значений ( $P_p$ ,  $\varepsilon_p$ ) (а); вид гистограммы сверху (б).

Обработка данных натурального эксперимента на одиночных волокнах с использованием кластерного анализа (рисунок 3) позволила сформулировать двумерную вероятностную модель разрывных значений ( $P_p$ ,  $\varepsilon_p$ ) в виде смеси двух двумерных распределений Вейбулла [2].

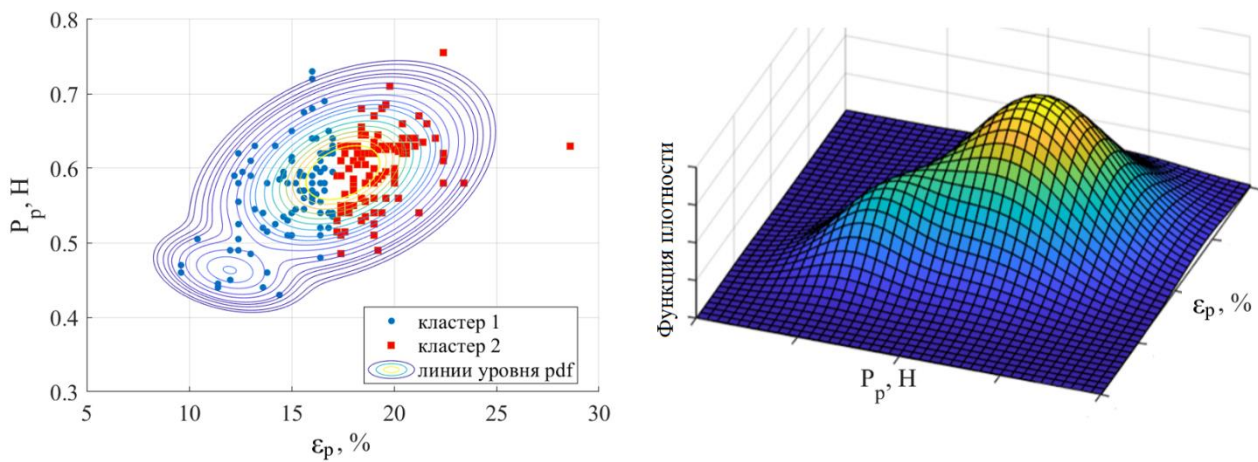


Рисунок 3 – Разбиение экспериментальных значений разрывных нагрузок  $P_p$  и деформаций  $\varepsilon_p$  на два кластера по методу k-means и линии уровня функции плотности вероятностей.

Задача калибровки такой модели, содержащей в общем случае 13 параметров, представляет собой довольно сложную вычислительную задачу. При возможности упрощающих предположений число параметров может быть уменьшено. Например, если для целей исследования приемлемо рассматривать разрывные характеристики как независимые случайные величины, то задача может быть сведена к одномерной, содержащей 5 параметров. На рисунке 4 показан такой пример. На рисунке 4а представлена гистограмма относительных частот, построенная по измерениям усилия при разрыве  $P_p$  и график функции плотности вероятностей гипотетического распределения – смеси двух одномерных распределений Вейбулла с функцией плотности

$$f = \lambda f_1 + (1 - \lambda) f_2,$$

$$f_i(x; x_{0i}, a_i, k_i) = \begin{cases} \frac{a_i}{k_i} \left( \frac{x - x_{0i}}{k_i} \right)^{a_i - 1} \exp \left( - \left( \frac{x - x_{0i}}{k_i} \right)^{a_i} \right), & x \geq x_{0i} > 0 \\ 0, & x < x_{0i} \end{cases} \quad i = 1, 2,$$

где  $a$  – параметр формы,  $k$  – параметр масштаба,  $x_0$  – параметр сдвига (пороговое значение случайной величины). Параметры распределения найдены методом максимального правдоподобия с использованием алгоритма Нелдера-Мида.

На рисунке 4б показан QQ-plot, демонстрирующий хорошее согласие между эмпирическим и теоретическим распределениями.

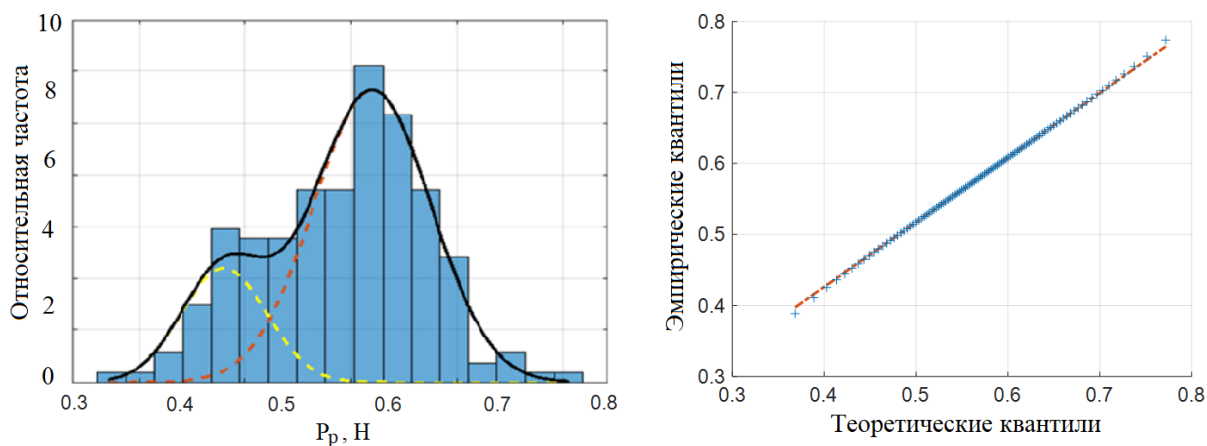


Рисунок 4 – (а) Гистограмма относительных частот по измерениям усилия при разрыве  $P_p$ , график функции плотности смеси двух распределений Вейбулла (сплошная линия) и компонент смеси (пунктирные линии); (б) – QQ-plot для гипотетического распределения.

На третьем этапе необходимо построить модель механизма разрыва пучка волокон. Этот этап представляет наибольшую сложность из-за многочисленных факторов, влияющих на процесс разрыва: ориентация волокон (наибольшее сопротивление разрыву испытывают волокна, ориентированные перпендикулярно направлению нагрузки); скорость деформации (чем больше скорость нагружения, тем больше вероятность разрыва связей, препятствующих разделению пучка); наличие дефектов (распределение механических напряжений может быть неравномерным из-за микродефектов) и т.д. В настоящем исследовании модель механизма разрыва пучка волокон строилась в предположении, что пучок состоит из параллельно уложенных однородных волокон, поэтому ключевой фактор, влияющий на значение разрывных характеристик пучка, – неравномерность составляющих пучок отдельных волокон по длине, приводящая к «провисанию» волокон, длина которых превышает длину самого короткого волокна. Таким образом, очередность разрыва волокон в пучке определяется значением удлинения при разрыве  $\varepsilon_p$  с учетом величины «провисания», пересчитываемого после разрыва очередного волокна.

Выполнение этапов 1-4 позволяет перейти к разработке интерфейса имитационной модели, обеспечивающего возможность проведения имитационных экспериментов для прогнозирования разрывных характеристик пучка полиамидных волокон с учетом изменения различных факторов в целях конкретного исследования. Например, при изучении механизма разрыва пучка волокон, сформулированного нами на этапе 3, интерес представляет зависимость разрывного усилия от числа волокон в пучке при различных значениях неоднородности волокон по длине. Полагая, что длины волокон равномерно отклоняются на фиксированное число процентов от заданной

средней длины, получим в имитационном эксперименте следующий результат (рис. 5):

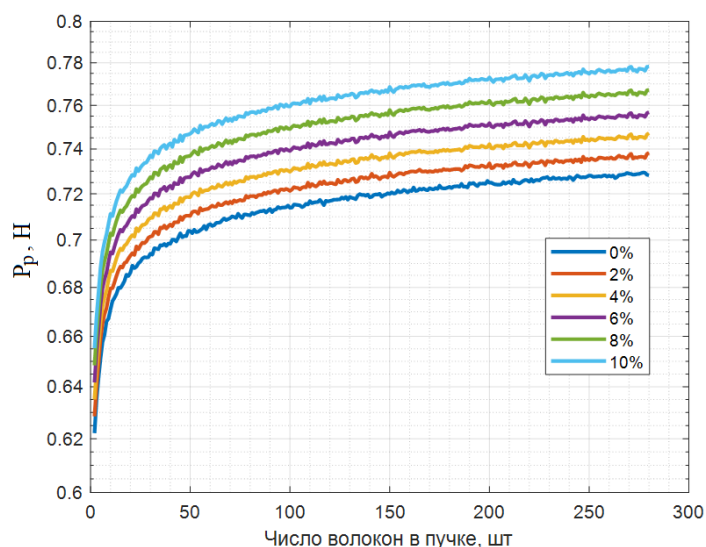


Рисунок 5 – Зависимость разрывной нагрузки пучка  $P_p$  от числа волокон и степени неравномерности длин волокон в пучке.

Таким образом, последовательное выполнение основных этапов подготовки данных и построения имитационной модели процесса растяжения и разрыва полимерных комплексных нитей позволяет получить инструмент, обеспечивающий проведение имитационных экспериментов для прогнозирования разрывных характеристик комплексных полиамидных нитей.

#### Список литературы

1. Выюненько Л.Ф., Цобкалло Е.С., Т.Б. Кольцова Т.Б. Статистический метод определения границ диапазонов неразрушающих нагрузок и деформаций синтетических нитей. Письма в ЖТФ – 2025. – т. 51, вып. 15, с. 36-40.
2. Papoulis A. Probability random variables and stochastic processes. 4th Ed. 2002. New York: McGrawHill: 852.

*Л.Ю. Гетманцев, к.т.н., ст. пр.; А.С. Поздняков, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **АНАЛИЗ РИСКОВ НА ОСНОВЕ VALUE AT RISK (VAR) В БАНКОВСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЫНОЧНЫХ ПОТЕРЬ**

В условиях высокой волатильности финансовых рынков и ужесточения требований к управлению капиталом банковская система сталкивается с необходимостью внедрения современных инструментов количественной оценки рыночных рисков. Одним из наиболее признанных и стандартизированных методов, реализованных в мировой и российской банковской практике, является Value at Risk (VaR). Данный подход позволяет определить максимально возможный убыток по портфелю финансовых инструментов за определённый временной горизонт при заданном уровне доверия, что обеспечивает объективную и прозрачную основу для принятия

управленческих решений, формирования резервов и соблюдения нормативов регуляторов [1].

В последние десятилетия методика VaR получила широкое распространение благодаря своей универсальности, математической строгости и возможности интеграции в автоматизированные системы управления рисками. Ведущие коммерческие банки, инвестиционные компании и центральные банки реализовали VaR как основной инструмент ежедневного мониторинга рыночных потерь, что позволило повысить устойчивость финансовых институтов к неблагоприятным изменениям рыночной конъюнктуры. Внедрение VaR способствует не только минимизации потенциальных убытков, но и оптимизации структуры капитала, а также выполнению требований Базельского комитета по банковскому надзору [2].

В современных условиях, когда финансовые рынки характеризуются высокой степенью неопределённости, а влияние макроэкономических и геополитических факторов становится всё более значимым, применение VaR позволяет банкам своевременно выявлять периоды повышенного риска, корректировать лимиты и принимать превентивные меры по защите активов. Кроме того, методика VaR интегрирована в процессы стресс-тестирования, что обеспечивает комплексный подход к управлению рыночными рисками и формированию стратегий хеджирования [3].

#### **Архитектура и механизм реализации**

В банковской деятельности реализована многоуровневая система оценки рыночных потерь на основе VaR, включающая следующие ключевые компоненты:

- формирование портфеля финансовых инструментов с учётом рыночных факторов: процентные ставки, валютные курсы, цены акций и облигаций, производные инструменты;
- сбор и обработка исторических данных по динамике рыночных цен, доходностей и волатильности активов;
- применение параметрического метода, Монте-Карло и метода исторического моделирования;
- установление временного горизонта (обычно 1 день или 10 дней) и уровня доверия (95% или 99%);
- автоматизация расчётов с использованием специализированных программных комплексов (RiskMetrics, MATLAB, Bloomberg Terminal, Python-библиотеки для финансового анализа).

В результате реализованная система VaR обеспечивает ежедневную оценку рыночных потерь, формирование отчётности для внутреннего и внешнего контроля, а также интеграцию с процедурами стресс-тестирования и лимитирования рисков. В крупных банках расчёты VaR автоматизированы и интегрированы с системами управления портфелем, что позволяет оперативно реагировать на изменения рыночной ситуации и корректировать стратегию управления рисками [4].

Особое внимание уделено вопросам валидации моделей VaR, включая процедуры back-testing (сравнение прогнозируемых и фактических потерь), а также учёту корреляций между различными классами активов. В современных условиях банки активно используют гибридные подходы, комбинируя различные методы расчёта VaR для повышения точности и надёжности оценки рисков.

### **Методика исследования**

Для анализа эффективности применения VaR в банковской деятельности проведено исследование на основе реальных данных по портфелю ценных бумаг крупного коммерческого банка. В исследовании реализованы следующие этапы:

1. Сбор исторических данных по ценам акций, облигаций и валют за трёхлетний период.
2. Расчёт VaR с использованием параметрического метода (на основе нормального распределения доходностей), метода исторического моделирования и метода Монте-Карло.
3. Сравнение полученных значений VaR с фактическими убытками, зафиксированными в исследуемом периоде.
4. Проведение процедуры back-testing для оценки точности моделей VaR.
5. Анализ влияния выбора временного горизонта и уровня доверия на результаты оценки риска.
6. Оценка влияния стрессовых рыночных событий (например, резких изменений процентных ставок или валютных курсов) на величину VaR.

В ходе исследования была реализована автоматизация расчётов с использованием программных средств, что позволило повысить точность и оперативность анализа. Результаты исследования подтверждают, что реализованный подход на основе VaR демонстрирует высокую точность при оценке рыночных потерь, а также позволяет своевременно выявлять периоды повышенной волатильности и корректировать лимиты риска.

### **Результаты моделирования**

На основе проведённого анализа получены следующие результаты по точности оценки, адаптивности и практической применимости метода VaR:

Метод расчёта VaR	Точность оценки	Адаптивность	Практическая применимость
Параметрический метод	Высокая	Средняя	Высокая
Историческое моделирование	Очень высокая	Высокая	Высокая
Монте-Карло	Высокая	Очень высокая	Средняя

Наиболее эффективным в условиях нестабильных рынков оказался метод исторического моделирования, который демонстрирует высокую чувствительность к изменению рыночной конъюнктуры и позволяет учитывать

нетипичные события. Параметрический метод обеспечивает быструю оценку при условии нормальности распределения доходностей, однако может недооценивать риски в периоды кризисов. Метод Монте-Карло реализован для сложных портфелей и позволяет моделировать широкий спектр сценариев, однако требует значительных вычислительных ресурсов.

Дополнительно проведён анализ влияния стрессовых событий на величину VaR, что позволило выявить уязвимые места в структуре портфеля и предложить меры по диверсификации активов и хеджированию рисков. Внедрение VaR в ежедневную практику банковского управления рисками способствует не только снижению вероятности крупных убытков, но и повышению доверия со стороны инвесторов и регуляторов.

Представленное решение демонстрирует высокую эффективность и практическую значимость метода Value at Risk для оценки рыночных потерь в банковской деятельности. Реализованная система VaR обеспечивает объективную и своевременную оценку рисков, способствует выполнению требований регуляторов и повышает устойчивость финансовых институтов к неблагоприятным рыночным изменениям.

Внедрение VaR в процессы управления рисками позволяет банкам не только минимизировать потенциальные убытки, но и оптимизировать структуру капитала, а также повысить доверие со стороны инвесторов и надзорных органов. Дальнейшее развитие методик VaR связано с интеграцией стресс-тестирования, учётом корреляций между различными классами активов и применением современных вычислительных технологий для повышения точности и скорости расчётов.

В современных условиях особое значение приобретает развитие гибридных моделей VaR, способных учитывать не только исторические данные, но и прогнозные сценарии развития рынков, а также интеграция VaR с системами раннего предупреждения о рисках. Это позволяет формировать проактивную стратегию управления капиталом и обеспечивать долгосрочную устойчивость банковской деятельности.

#### Список литературы

1. Ястребова А.Ю. Value at Risk: теория и практика применения в банковской деятельности // Деньги и кредит. - 2019. - № 7. - С. 42–49.
2. Базельский комитет по банковскому надзору. Международная конвергенция измерения капитала и капитальных стандартов: пересмотренные рамки. - Базель: BIS, 2006. - 347 с.
3. Dowd K. Measuring Market Risk. - Chichester: John Wiley & Sons, 2007. - 410 с.
4. Alexander C. Market Risk Analysis. Volume IV: Value at Risk Models. - Chichester: John Wiley & Sons, 2008. - 416 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «WHAT-IF» ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОНАХ**

Оценка рисков при строительстве в сейсмически активных регионах - ключевая задача, определяющая безопасность, экономическую эффективность и устойчивость объектов. В современных условиях, когда требования к надёжности и устойчивости сооружений возрастают, особую актуальность приобретает использование аналитических методов для прогнозирования и минимизации возможных последствий сейсмических воздействий.

Метод «What-If» (анализ «Что, если?») широко применяется в инженерной практике для выявления потенциальных опасностей и оценки сценариев развития аварийных ситуаций. Его гибкость и универсальность позволяют адаптировать подход к различным этапам проектирования и эксплуатации строительных объектов, особенно в условиях неопределённости, характерной для сейсмически опасных зон [1]. В отличие от формализованных методов, «What-If» позволяет экспертам рассматривать широкий спектр гипотетических ситуаций, включая маловероятные, но потенциально опасные события, что существенно повышает полноту анализа.

В последние годы наблюдается тенденция к интеграции методов сценарного анализа с цифровыми технологиями моделирования, такими как BIM (Building Information Modeling), что позволяет повысить точность и оперативность оценки рисков. Внедрение таких подходов способствует не только повышению безопасности, но и оптимизации затрат на строительство и эксплуатацию объектов. Кроме того, международные стандарты управления рисками (например, ISO 31000) рекомендуют использовать сценарные методы анализа для комплексной оценки угроз и разработки эффективных мер реагирования [2].

### **Архитектура и механизм применения**

Метод «What-If» реализован в виде последовательного анализа гипотетических сценариев, связанных с возможными отклонениями от проектных решений или внешними воздействиями. В отличие от традиционных методов, основанных на статистических данных или нормативных коэффициентах, «What-If» позволяет учитывать уникальные особенности конкретного объекта и местности [3].

Процедура включает следующие этапы:

- **Формирование перечня возможных событий.** На этом этапе осуществляется сбор информации о потенциальных опасностях, которые могут возникнуть в процессе строительства и эксплуатации объекта. В перечень включаются как природные (землетрясения различной магнитуды, оползни, вторичные эффекты), так и техногенные события (отказ конструктивного элемента, ошибки в технологии строительства, сбои в работе оборудования);

• Оценка вероятности и последствий каждого события. Для каждого сценария проводится экспертная оценка вероятности его наступления и анализ возможных последствий для объекта, персонала и окружающей среды. Используются как статистические данные, так и результаты моделирования;

• Разработка мер по снижению риска и минимизации ущерба. На основе анализа разрабатываются превентивные и корректирующие мероприятия: усиление конструкций, внедрение систем мониторинга, корректировка проектных решений, обучение персонала действиям в чрезвычайных ситуациях;

• Внесение корректировок в проектные решения. Полученные результаты используются для оптимизации проектных решений, выбора наиболее эффективных технологий и материалов, а также для формирования плана реагирования на чрезвычайные ситуации.

Такой подход обеспечивает всесторонний анализ уязвимых мест объекта и позволяет заранее предусмотреть эффективные меры реагирования. Особенно важно применение метода «What-If» при проектировании критически важных и уникальных сооружений, где стандартные методы оценки рисков могут быть недостаточны [4].

#### **Методика исследования**

Для анализа эффективности метода «What-If» была выбрана типовая задача – оценка рисков при строительстве жилого комплекса в сейсмоопасной зоне. В качестве исходных данных использовались геологические характеристики участка, параметры проектируемого здания и возможные сценарии сейсмических воздействий.

Были реализованы три альтернативных способа выполнения данной задачи:

1. **Традиционный нормативный анализ**, основанный на расчёте по СНиП и СП;
2. **Вероятностный анализ**, включающий обработку статистических данных о прошлых землетрясениях, построение вероятностных моделей возникновения опасных событий;
3. **Метод «What-If»**, включающий экспертную проработку сценариев, моделирование развития событий, разработку плана мероприятий по снижению рисков.

Каждый подход был реализован с использованием специализированных программных средств и экспертных оценок. Для корректного сравнения применялись одни и те же исходные данные и критерии оценки.

#### **Результаты моделирования**

На основе проведённого анализа были получены следующие данные по полноте оценки рисков, трудоёмкости и гибкости применения:

Метод оценки	Полнота анализа	Трудоёмкость	Гибкость	Практическая применимость
Нормативный анализ	Средняя	Низкая	Низкая	Высокая
Вероятностный анализ	Высокая	Средняя	Средняя	Средняя
Метод «What-If»	Очень высокая	Средняя	Высокая	Высокая

Наиболее эффективным оказался метод «What-If», который позволил выявить дополнительные риски, не учтённые в нормативных и вероятностных подходах. Благодаря гибкости сценарного анализа удалось разработать комплекс мероприятий по повышению сейсмостойкости объекта и оптимизации проектных решений. При этом трудоёмкость метода осталась на приемлемом уровне, а результаты оказались максимально адаптированы к конкретным условиям строительства.

Метод «What-If» позволяет выявить риски, связанные с человеческим фактором, ошибками в эксплуатации, а также с воздействием вторичных факторов (например, пожары, вызванные повреждением коммуникаций при землетрясении).

Представленное решение демонстрирует высокую эффективность применения метода «What-If» для оценки рисков при строительстве объектов в сейсмически активных зонах. Сценарный подход позволяет выявлять скрытые угрозы, разрабатывать индивидуальные меры защиты и повышать общую надёжность сооружений [1].

В отличие от традиционных методов, «What-If» обеспечивает более глубокий и всесторонний анализ, позволяя учитывать не только стандартные, но и редкие, маловероятные, но критически опасные сценарии. Это особенно важно для объектов, расположенных в регионах с высокой сейсмической активностью, где последствия даже одного неучтённого события могут быть катастрофическими.

Метод «What-If» рекомендуется к использованию на всех этапах жизненного цикла строительного объекта - от проектирования до эксплуатации. Его внедрение способствует снижению вероятности аварийных ситуаций и минимизации ущерба при возникновении сейсмических событий. В дальнейшем возможно развитие методики за счёт интеграции с цифровыми моделями зданий (BIM), автоматизации сценарного анализа и расширения базы экспертных знаний. Перспективным направлением является создание программных комплексов, объединяющих возможности моделирования, анализа и управления рисками в единой информационной среде, что позволит повысить уровень безопасности и устойчивости объектов в сейсмоопасных регионах.

Список литературы

1. ISO 31000:2018 Risk management - Guidelines. - Geneva: International Organization for Standardization, 2018. - 36 с.

2. FEMA P-58-1: Seismic Performance Assessment of Buildings. Volume 1 – Methodology. - Washington: Federal Emergency Management Agency, 2018. - 312 с.
3. Keller R., Modarres M. A historical overview of probabilistic risk assessment development and its use in the nuclear power industry: A tribute to the late Professor Norman Carl Rasmussen // Reliability Engineering & System Safety. - 2005. - Vol. 89, No. 3. - С. 271–285.
4. Kang T.H.K., Kim S., Lee S.H. Application of What-If Analysis for Construction Risk Management // Journal of Civil Engineering and Management. - 2015. - Vol. 21, No. 7. - С. 902–911.

*С.В. Дроздецкий, к.т.н., доц.; А.А. Ахмедов, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

Сегодня предприятиям приходится работать в условиях постоянной неопределённости. Геополитика, санкции, экономические колебания, рост цен на ресурсы – всё это может вызвать кризис. Чтобы не «утонуть», руководству нужно уметь быстро принимать решения. Но как заранее понять, какое решение сработает, а какое – нет? Здесь на помощь приходит имитационное моделирование.

Имитационное моделирование – это метод, который позволяет «проигрывать» разные ситуации на компьютере, как будто это реальность. Такой подход помогает руководителям заранее просчитать последствия своих действий в случае кризиса, не рискуя реальными деньгами и людьми.

Имитационное моделирование – это метод анализа, при котором создаётся компьютерная модель реального предприятия. Эта модель включает в себя всё: людей, оборудование, процессы, финансы. Затем в неё «вкладываются» разные кризисные сценарии, например:

- внезапное повышение цен на сырьё;
- сбои в поставках;
- рост курсов валют;
- забастовки персонала;
- кибератаки и сбои IT-систем.

С помощью программ (например, AnyLogic, Arena, Simul8) можно просчитать, что произойдёт с предприятием в каждой из этих ситуаций. Это даёт возможность подготовиться заранее – создать антикризисный план.

Специалисты загружают в программу реальные данные предприятия: графики работы, расписания смен, отчёты по продажам, логистику. Затем задают условие: например, сбой поставок на 5 дней. Программа показывает, что произойдёт: увеличится время выполнения заказов, возникнут очереди на складах, вырастут затраты. После этого руководство может принять меры: заказать товар заранее, нанять временных сотрудников, временно изменить производственную программу.

В таблице 1 приведен список наиболее известных программ, которые можно использовать для моделирования.

Таблица 1 – Программы для моделирования (составлена автором)

Название	Применение	Уровень сложности
AnyLogic	Производство, логистика, финансы	Средний / высокий
FlexSim	Заводы, складские комплексы	Средний
Arena Simulation	Моделирование процессов в цехах	Средний
Simul8	Здравоохранение, сервис	Средний
Excel / Python	Простые расчёты, обучение	Низкий / средний

В 2025 году мир остаётся нестабильным. По данным Международного валютного фонда (IMF), темпы глобального роста экономики в 2024–2025 годах составляют около 3%, но с высокой волатильностью [1]. Особенно это касается России: в условиях санкций, импортозамещения и нестабильных логистических цепочек предприятия сталкиваются с новыми вызовами каждый месяц.

Также важен тренд на цифровизацию. В дорожной карте Национальной технологической инициативы (НТИ) России упоминаются цифровые двойники и моделирование. Согласно документу, к концу 2024 года ожидалось, что виртуальное моделирование освоят не менее 250 предприятий, потратив на это 145 млрд рублей [2]. Это значит, что имитационное моделирование входит в число технологий будущего.

Имитационное моделирование как научное направление начало развиваться в XX веке. Один из основателей метода – Джей Форрестер, американский учёный, который разработал основы системной динамики. Его работы помогли моделировать экономические и производственные процессы на макроуровне.

Позже метод развивали и российские учёные. В частности, академик Владимир Трапезников писал о необходимости внедрения методов моделирования в промышленность ещё в 80-е годы [3]. Современные исследователи, такие как С. П. Бобков, И. А. Астраханцева., Е. А. Павлова подчёркивают, что моделирование помогает оценить эффективность управленческих решений без риска потерь [4].

Представим мебельное предприятие, которое закупает древесину и фурнитуру у иностранных поставщиков. Что произойдёт, если поставки задержатся на 2 месяца?

Создавая имитационную модель, мы закладываем:

- текущее состояние склада;
- среднюю продолжительность производственного цикла;
- уровень спроса на продукцию;
- альтернативные маршруты поставок.

После моделирования система показывает:

- насколько быстро исчерпаются запасы;
- как снизится объём готовой продукции;
- в какой момент предприятие перестанет выполнять заказы.

В результате руководство может:

- заблаговременно закупить древесину на внутреннем рынке;
- найти новых поставщиков;

- временно изменить ассортимент продукции.

Благодаря этому можно минимизировать потери, не останавливая производство полностью.

Ещё один пример: имитационная модель показывает, что при росте курса доллара на 20%, закупка импортного сырья становится невыгодной. Руководитель может заранее проработать план перехода на отечественные материалы.

В таблице 2 приведены возможные кризисные ситуации на предприятии с дальнейшими возможными действиями управляющего.

Таблица 2 – Примеры кризисов и реакций по моделированию (составлена автором)

Пример кризиса	Что моделируется	Возможные действия после анализа
Задержка поставок	Время простоя линий, потери выручки	Поиск локальных поставщиков
Массовое увольнение	Потери производительности	Обучение резервных сотрудников
Пожар в цехе	Потери оборудования, эвакуация	Аренда резервных помещений
Резкий рост цен на сырьё	Снижение маржи, рост издержек	Пересмотр ценовой политики
Кибератака	Потеря доступа к системам управления	Усиление IT-безопасности

Теперь рассмотрим плюсы и минусы метода. К плюсам можно отнести:

1. Безопасность, поскольку можно проигрывать кризисы без реальных потерь;
2. Гибкость, поскольку можно моделировать любые сценарии;
3. Скорость принятия решений, поскольку результаты видны сразу;
4. Объективность, поскольку меньше влияния «человеческого фактора».

Из минусов стоит обозначить:

1. Требуются навыки моделирования и специальные программы;
2. Не все данные доступны; иногда нет точной информации о внешних рисках;
3. Сложно учесть непредсказуемое поведение людей в реальности.

Таким образом, имитационное моделирование – важный инструмент для современных предприятий. В условиях нестабильности текущего года такой подход помогает не просто выживать, но и находить точки роста. Используя модели, руководство может принимать взвешенные и обоснованные решения. А это значит – быть готовыми к кризису и реагировать не «вслепую», а на основе точных расчётов.

#### Список литературы

1. Moderating Inflation and Steady Growth Open Path to Soft Landing // International Monetary Fund URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/Issues/2024/01/30/world-economic-outlook-update-january-2024> (дата обращения: 04.06.25).

2. Дубинин Павел. Заводы заводят цифровые двойники // Ведомости URL: <https://www.vedomosti.ru/technologies/trendsrub/articles/2024/11/26/1076766-zavodi-tsifrovie-dvoyniki> (дата обращения: 04.06.25).

3. Трапезников В. А., О некоторых перспективах в развитии управляющих систем, Автомат. и телемех., 1981:2, 7—14.

4. Бобков С. П., Астраханцева И. А., Павлова Е. А. Имитационное моделирование для интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2022. №1 (69). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/imitatsionnoe-modelirovanie-dlya-intellektualnoy-podderzhki-prinyatiya-upravlencheskih-resheniy> (дата обращения: 03.06.2025).

*А.В. Зарембо, к.т.н., доц.; А.С. Малахов, адъюнкт;  
(ВА В ПВО ВС РФ, г. Смоленск)  
П.С. Харламов, специалист  
(Координационный центр, г. Смоленск)*

## **НЕЙРОСЕТЕВОЙ ГИБРИДНЫЙ КЛАССИФИКАТОР ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Бурный рост интереса к научным исследованиям и инженерным решениям в области беспилотных технологий определяет необходимость разработки новых средств защиты с учетом того, что на современном рынке технологий наблюдается массовая доступность гражданских беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), ведущая к их использованию во многих отраслях экономики и сферах жизни общества. Кажущееся безопасным, данное использование БПЛА сопряжено с многочисленными рисками при нарушении правил эксплуатации или наличии злого умысла. Так, БПЛА могут представлять угрозу для авиации, частной и государственной собственности; могут нарушать неприкосновенность сфер жизни человека (коммерческой, образовательной, спортивной и др.) и частного пространства; а также использоваться для преступных и террористических целей (доставка взрывчатки, контрабанды, полеты в жилых районах). С учетом вышеизложенного повышается значимость разработки решений для обнаружения и возможной нейтрализации БПЛА. Вместе с тем разработка новых методов защиты от БПЛА должна учитывать ряд ключевых аспектов. Прежде всего, БПЛА, используемые населением, являются частной собственностью, а, соответственно, способ нейтрализации БПЛА не должен нанести по ней значительные повреждения. Также важно отметить, что гражданские БПЛА зачастую применяются в населенных пунктах, что формирует ряд специфических ограничений в виде инфраструктуры населенного пункта.

Предлагаемое решение может быть применено в системах безопасности, мониторинга критической инфраструктуры и противодействия несанкционированному использованию БПЛА в военной и гражданской сферах. Реализованный подход включает сенсорную интеграцию, обработку сигналов в реальном времени и адаптивное принятие решений на основе нейросетевых моделей: онтологической и адаптивной нейро-нечеткой. Результаты тестирования, описанные в статье, демонстрируют эффективность системы в условиях имитационных данных в различных средах.

В настоящее время существует большое количество сенсорных технологий, представляющих собой разнородные датчики, которые могут использоваться для задачи распознавания БПЛА. В частности, особую популярность в современных системах распознавания, основанных на традиционных методах, используются одноканальные датчики одного из следующих типов: радиочастотный датчик, лидар, акустический (звуковой) датчик, оптический и инфракрасный датчики. Авторами с целью повышения эффективности решения задачи обнаружения и распознавания БПЛА предлагается использовать многоканальный подход, основанный на применении оптического датчика, инфракрасного датчика, датчика шума (акустического датчика) и датчик измерения углового перемещения цели.

Оптический датчик является одним из основных компонентов системы обнаружения. Он обеспечивает получение визуальной информации о БПЛА в видимом спектре. При этом качество получаемых данных напрямую зависит от условий освещенности и погодных условий. Для повышения эффективности работы оптического датчика применяются алгоритмы предварительной обработки изображений, включающие коррекцию яркости, контраста и устранение шумов. Следует отметить, что оптический датчик в рамках предлагаемой системы может представлять собой многоканальную сенсорную систему, которая позволяет одновременно отслеживать несколько объектов, создавать сенсорную плоскость на любой поверхности, реализовывать псевдотрехмерные приложения, работать в открытом пространстве.

Инфракрасный датчик дополняет оптический канал обнаружения, позволяя выявлять БПЛА по тепловому излучению двигателей и корпуса. Особенно эффективен такой подход в ночное время и при неблагоприятных погодных условиях. Интеграция данных с инфракрасного и оптического датчиков позволяет существенно повысить вероятность правильного распознавания цели. Интегрируемый инфракрасный датчик предусматривает работу в трех режимах: ближний инфракрасный диапазон (ИК) (NIR, 0,7-1,0 мкм), коротковолновый ИК (SWIR, 1-3 мкм), длинноволновый ИК (LWIR, 8-14 мкм). Звуковой датчик фиксирует акустические колебания, создаваемые при работе двигателей БПЛА. Анализ частотного спектра и характерных особенностей звукового сигнала позволяет не только обнаружить дрон, но и определить его тип. Современные алгоритмы обработки звука способны выделять полезный сигнал даже на фоне городского шума и других помех.

Следует отметить, что при работе акустического датчика также предусмотрено использование функции неопределенности (ВФН), исчисляемой по формуле (1), где  $s_{ref}$  – опорный канал,  $s$  – канал наблюдения,  $l$  – дискретизированная задержка,  $d$  – дискретизированный частотный сдвиг,  $N$  – количество отсчетов принятого сигнала в обрабатываемом блоке,  $n$  – номер отсчета сигнала.

$$\varphi(l, d) = \left| \sum_{n=0}^{N-1} s(n) s_{ref}(n-1) e^{-j2\pi d \frac{n}{N}} \right| \quad (1)$$

Также система сенсорного распознавания дополняется датчиком движения, который отслеживает перемещение объекта в пространстве, фиксируя изменения в положении цели относительно системы координат. Полученные данные о векторе движения и скорости позволяют прогнозировать траекторию полета БПЛА и оценивать его потенциальную угрозу.

Реализация системы с использованием нечеткого прогнозирования в имплементации нейронных сетей глубокого обучения (онтологических сетей) (рис. 1).

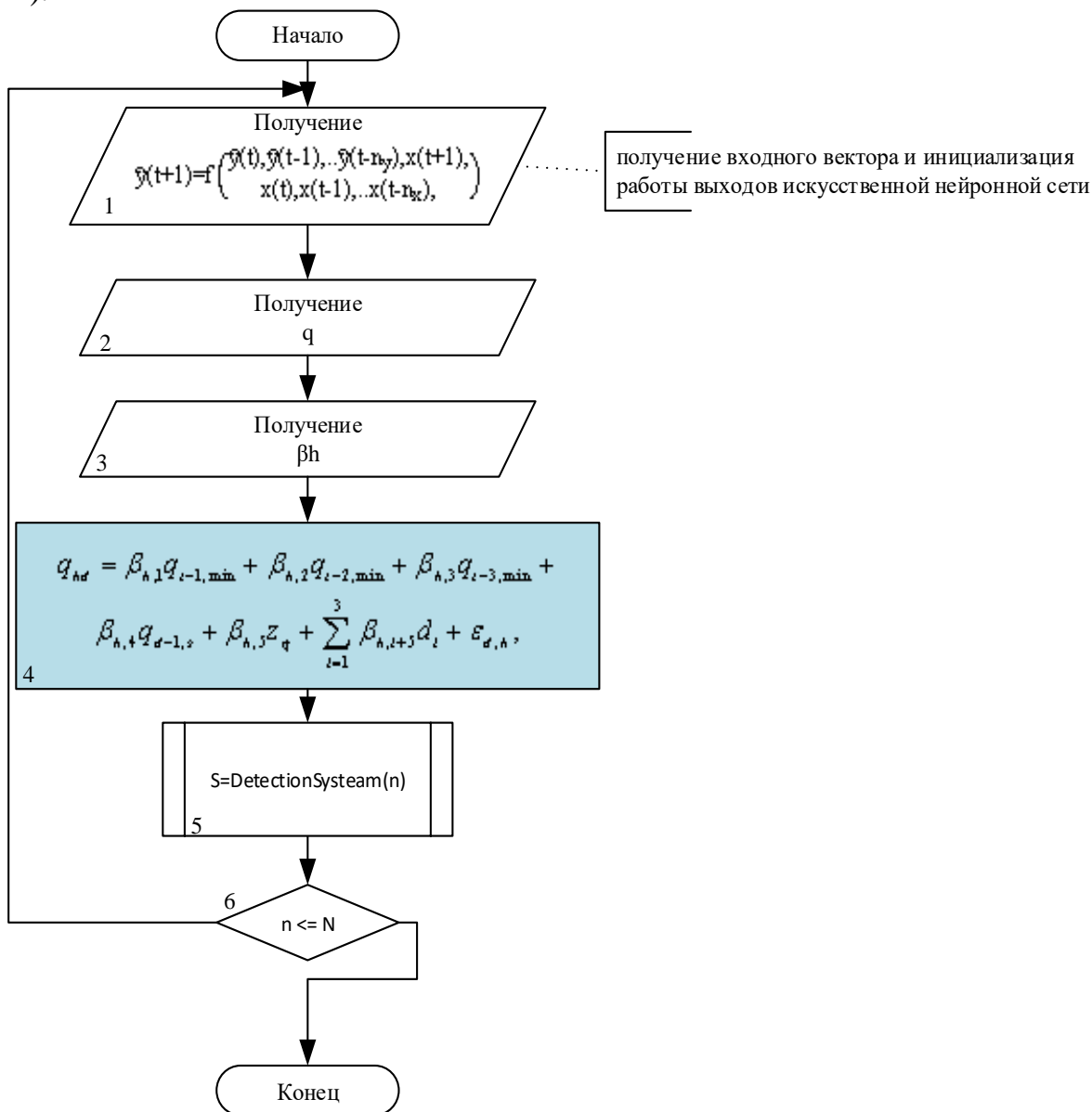


Рисунок 1 – Алгоритм работы системы распознавания БПЛА на основе разнородных датчиков

Алгоритмическая реализация выходного вектора модели может быть описана формулой (2):

$$y(t+1) = f\left(\begin{matrix} y(t), y(t-1), \dots, y(t-n_y), x(t+1), \\ x(t), x(t-1), \dots, x(t-n_x) \end{matrix}\right) \quad (2)$$

где  $y(t+1)$  – выходной вектор нейросети в момент времени  $t$  для времени  $t+1$ ;  $f$  – целевая функция нейронной сети;  $y(t)$ ,  $y(t-1)$ ,  $y(t-n_y)$  – выходы ИНН;  $(t+1)$ ,  $x(t-1)$ ,  $x(t-n_x)$  – входные вектора NARX;  $n_x$  – количество входных задержек;  $n_y$  – количество выходных задержек.

Так, в формуле (2), каждое последующее значение выходного вектора проходит через регрессию независимо от входного вектора [3]. За учётом того, что работа осуществляется с использованием *PID (Process Identifier)* процессов, их прогнозирование будет определяться формулой (3):

$$q_{hd} = \beta_{h,1}q_{t-1,\min} + \beta_{h,2}q_{t-2,\min} + \beta_{h,3}q_{t-3,\min} + \beta_{h,4}q_{d-1,s} + \beta_{h,5}z_q + \sum_{i=1}^3 \beta_{h,i+5}d_i + \varepsilon_{d,h}, \quad (3)$$

где  $q_{t-1, s} = \min_{m=1,\dots,60}\{q_{t-1, \min}\}$  – ссылка на минимальное значение загрузки центрального процессора, связанная с предыдущими значениями загрузки за прошедшее время.  $Z_t$  – логарифм прогнозируемых значений на определенный временной промежуток (экзогенная переменная);  $d_i$  – учет изменения коэффициента в различные дни использования устройства;  $\varepsilon_{d,h}$  – распределенные нормальные переменные;

Результатом образования данной формулы будет являться нейронная сеть, представленная на рис. 2.

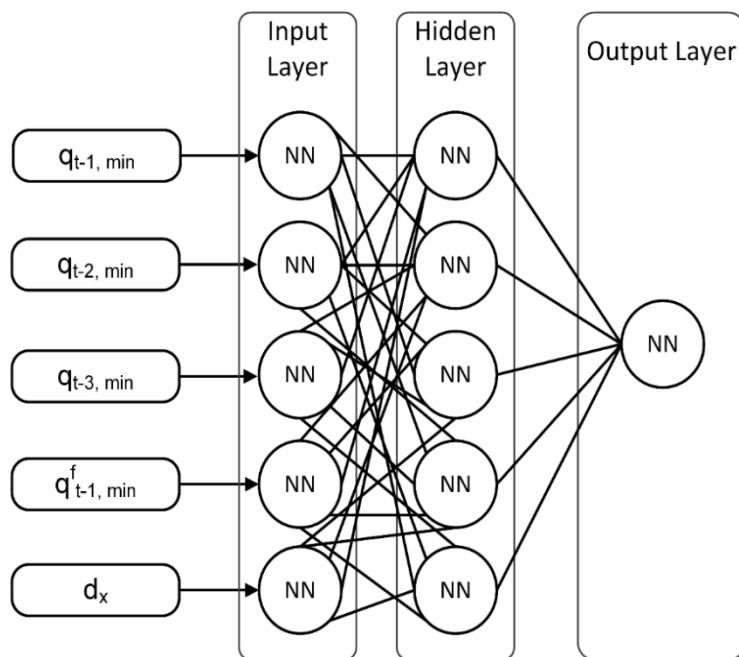


Рисунок 2 – Построение нейросетевой модели прогнозирования показателей

В рамках интерпретации *MatLAB* входные данные заносятся в класс инициализации параметров системы.

В качестве функции активации первого слоя нейронной сети выступает сигмоида, описываемая формулой (4):

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}}, \quad (4)$$

$$z = \sum_{i=1}^m w_i x_i + bias,$$

где  $\sigma(z)$  – функция активации;  $m$  – индекс входного слоя;  $w_i$  – вес функции;  $x_i$  – входной вектор;  $bias$  – смещение функции активации.

Также дополнительно прописаны вспомогательные функции, осуществляющие дополнительную обработку данных на основании особенностей разнородных датчиков.

Таким образом, в статье представлена алгоритмическая модель нейросетевого способа обнаружения и распознавания БПЛА на основе комбинированной системы разнородных датчиков. Основными достоинствами данного алгоритма является высокая скорость и точность обнаружения и распознавания дронов, что позволяет распознавать объекты в режиме реального времени с минимальными фоновыми ошибками.

Анализ предварительных результатов моделирования позволяет говорить о достаточно высокой вероятности правильного распознавания (не ниже 0,8), которую обеспечивает интеллектуальная мультимодальная система обнаружения и распознавания БПЛА.

#### Литература

1. Воробьев, Е.Н. Исследование сигнальных признаков распознавания малых БПЛА в полуактивной РЛС / Е.Н. Воробьев // Вестник Новгородского государственного университета. – 2019. – № 4. – С. 72-77.
2. Арзумян, Э.П. Распознавание объектов на траектории полёта БПЛА путём коррекции параметров изображений / Э.П. Арзумян // Цифровая обработка сигналов. – 2018. – № 4. – С. 28-34.
3. Федосеева, Н.А., Загвоздкин, М.В. Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. / Н.А. Федосеева, М.В. Загвоздкин // Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivnye-oblasti-primeneniya-bespilotnyh-letatelnyh-apparatov/viewer>.

*И.С. Окусков, асп.*

*(Санкт-Петербургский филиал ФГАОУ ВО «НИУ «ВШЭ»)*

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ SDLC С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: ОБЗОР МЕТОДОВ, ИНСТРУМЕНТОВ И ПЕРСПЕКТИВ**

Эффективность и предсказуемость разработки ПО имеют первостепенное значение. SDLC (жизненный цикл разработки программного обеспечения) – это структурированный процесс создания, развертывания и поддержки программного продукта. Тем не менее, организации часто сталкиваются с перерасходом бюджета, задержками, низким качеством и неэффективным использованием ресурсов. Это происходит вследствие недостаточной коммуникации между пользователями и разработчиками, приводящей к неточным или неполным требованиям. Дополнительно, ошибки в анализе требований и их интерпретации, а также проблемы проектирования и архитектуры, усугубляют ситуацию. Отсутствие гибкости системы и сложности в учете меняющихся потребностей клиентов в процессе SDLC, в сочетании с неэффективным управлением изменениями, приводят к увеличению затрат,

снижению качества и неудовлетворенности системы реальным потребностям [1]. Эти трудности вызваны сложностью процессов, взаимозависимостью задач, неопределенностью требований и человеческим фактором.

Традиционные методы планирования не всегда справляются с этими стохастическими и сложными системами. Имитационное моделирование – мощный аналитический инструмент, способный воспроизводить динамику таких систем, позволяя экспериментировать со сценариями и выявлять узкие места без риска для реальных операций. Цель статьи – обзор применения имитационного моделирования для повышения эффективности SDLC.

Имитационное моделирование создает компьютерные модели систем, воспроизводит их поведение во времени и позволяет проводить эксперименты. Оно особенно эффективно для анализа сложных стохастических систем.

Основные виды имитационного моделирования для SDLC:

- Дискретно-событийное моделирование (DES): моделирует системы, состояние которых меняется в дискретные моменты времени. Применяется для моделирования потоков задач, очередей и загрузки ресурсов, выявляя узкие места.

- Системная динамика (SD): анализирует нелинейные системы с обратными связями. Используется для моделирования долгосрочных тенденций, стратегических решений и взаимосвязей в SDLC (качество, сроки, затраты, моральный дух, дефекты) [2].

- Агентное моделирование (ABM): моделирует автономные сущности (агентов) и их взаимодействия. В SDLC агентами могут быть разработчики или команды. ABM исследует эмерджентное поведение системы, например, распространение знаний или динамику командной работы.

Применение на этапах SDLC:

- Планирование/Требования: Оценка влияния неопределенности требований на сроки/стоимость, прогнозирование ресурсов и рисков.

- Проектирование/Реализация: Оптимизация распределения задач, выявление узких мест в кодировании.

- Тестирование: Оптимизация стратегий тестирования, прогнозирование дефектов.

- Развертывание/Сопровождение: Оценка рисков развертывания, оптимизация поддержки.

Интеграция имитационного моделирования в SDLC включает специфические методы:

- Моделирование потоков работ (Workflow Simulation): Использование DES для симуляции последовательности задач, их длительности и зависимостей, выявляя "бутылочные горлышки".

- Моделирование распределения ресурсов (Resource Allocation Simulation): Оценка эффективности стратегий распределения персонала и бюджета для минимизации простоев.

- Анализ "Что если?" (What-If Analysis): Эксперименты с различными сценариями (изменение приоритетов задач) для оценки их влияния на

ключевые показатели (сроки, стоимость, качество) без риска для реального проекта.

- Моделирование рисков (Risk Simulation): Количественная оценка влияния рисков (отток кадров, тех. проблемы) на проект с использованием методов Монте-Карло.

- Оптимизация на основе моделирования (Simulation-Based Optimization): Комбинирование имитационного моделирования с методами оптимизации для поиска наилучших решений в сложных многокритериальных задачах.

Для имитационного моделирования SDLC используются различные инструменты:

- Универсальные платформы: AnyLogic – мощная мультиметодологическая платформа (DES, SD, ABM), широко используемая для моделирования процессов разработки ПО, включая Agile-потoki и управление командами [3].

- Инструменты системной динамики: Vensim – популярный инструмент для построения и анализа моделей системной динамики, идеален для анализа стратегических решений и долгосрочных трендов в SDLC.

- Инструменты агентного моделирования: NetLogo – открытая платформа, используемая для исследования сложных адаптивных систем.

Практические примеры:

- Оптимизация Agile-разработки: Моделирование использовалось для анализа эффективности стратегий распределения задач в гибких командах.

- Прогнозирование дефектов: Модели системной динамики и DES применялись для прогнозирования количества дефектов и оценки эффективности стратегий тестирования.

- Управление проектами с неопределенностью: Моделирование методом Монте-Карло используется для оценки вероятности завершения проекта в срок и в рамках бюджета.

- Оптимизация DevOps: Имитационное моделирование помогает выявить узкие места в конвейере CI/CD.

- Анализ влияния изменения состава команды: Агентное моделирование может быть использовано для изучения влияния ухода или добавления сотрудников на производительность.

Имитационное моделирование в SDLC активно развивается. Ключевые направления включают интеграцию с AI/ML (для калибровки моделей, прогнозной аналитики, обучения на основе подкрепления), увеличение детализации моделей (учет навыков разработчиков, тех. долга), развитие гибридных моделей (комбинирование DES, SD, ABM), улучшение визуализации и интерактивности, стандартизацию моделей, а также моделирование кибербезопасности в SDLC.

Имитационное моделирование – ценный инструмент для повышения эффективности SDLC. Оно позволяет:

- Визуализировать и понимать динамику процессов.
- Выявлять узкие места и неэффективности.
- Оптимизировать ресурсы и задачи.

- Прогнозировать сроки, затраты и качество.
- Оценивать влияние управленческих решений.
- Снижать риски и повышать предсказуемость.

Несмотря на сложности, связанные с построением и калибровкой моделей, потенциальные выгоды значительно перевешивают затраты. С развитием инструментов и интеграцией с AI, имитационное моделирование будет играть всё более важную роль в создании эффективных и предсказуемых процессов разработки ПО.

Данный обзор не только подтверждает критическую ценность имитационного моделирования для повышения эффективности SDLC, но и предлагает систематизацию и прогностическое видение его применения. В частности, работа детально структурирует основные виды ИМ (дискретно-событийное, системная динамика, агентное моделирование) и их применимость на каждом этапе жизненного цикла разработки ПО, обеспечивая целостную концептуальную рамку для исследователей и практиков. Эта систематизация знаний является значимым вкладом в упорядочивание сложной междисциплинарной области.

Ключевой вклад автора проявляется в идентификации и детализации перспективных направлений, таких как глубокая интеграция ИМ с методами искусственного интеллекта/машинного обучения и новаторское применение для моделирования кибербезопасности в SDLC. Это видение, подкрепленное текущими исследованиями, позиционирует ИМ как динамично развивающийся инструмент, способный адаптироваться к новым вызовам в разработке ПО. Таким образом, исследование не только обобщает текущее состояние области, но и активно формирует её будущую траекторию, предлагая конкретные пути для повышения эффективности и предсказуемости процессов разработки программного обеспечения.

#### Литература

1. Стоянова О. В., Окусков И. С. Перспективные направления совершенствования процессов жизненного цикла разработки программного обеспечения // Прикладная информатика. 2025. Т. 20. № 2. С. 79–96. DOI: 10.37791/2687-0649-2025-20-2-79-96
2. T. Abdel-Hamid and S. E. Madnick, "Software Project Dynamics: An Integrated Approach," Englewood Cliffs, Prentice Hall, New York, 1991.
3. Гимишян А.С., & Кокарева Я.А. (2019). ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ. Вестник науки, 1 (6 (15)), 51-53.

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Цель данной статьи провести сравнительный анализ эффективности популярных алгоритмов сжатия изображений (JPEG, PNG, WebP) по ключевым критериям: размер файла, визуальное качество, скорость сжатия и распаковки, а также поддержка прозрачности. На основе полученных данных разработать рекомендации по выбору оптимального формата сжатия для различных практических задач, таких как веб-разработка, хранение данных и обработка изображений. Актуальность темы обусловлена ростом объема визуальных данных в цифровых системах. Как отмечает Р. Гонсалес в труде «Цифровая обработка изображений», эффективное сжатие критически важно для оптимизации хранения и передачи данных в условиях ограниченных ресурсов [1].

В эпоху цифровых технологий изображения играют ключевую роль в передаче информации. Однако с ростом качества изображений увеличивается и их объем, что создает проблемы при хранении и передаче данных. Для решения этой проблемы используются алгоритмы сжатия изображений. В этой статье будет рассмотрено три популярных формата сжатия: JPEG, PNG и WebP, и проведем их сравнение по следующим критериям:

1. Размер файла после сжатия.
2. Визуальное качество изображения.
3. Скорость сжатия и распаковки.

Для сравнения (рисунок 1) использованы данные из официальной документации Google WebP [4]. Данные в таблице 1 приведены для изображения в формате PNG, размером 1МБ.

Таблица 1 – Сравнение эффективности алгоритмов сжатия

Критерий	JPEG	PNG	WebP
Размер файла после сжатия	200-500 КБ	1 МБ	150-350 КБ
Визуальное качество	Потери качества при сжатии менее 70%	Без потерь качества	Почти без потерь при сжатии до 50%
Скорость сжатия	0.1-0.3 сек	0.5-1 сек	0.2-0.4 сек
Скорость распаковки	0.05-0.1 сек	0.2-0.5 сек	0.1-0.3 сек
Прозрачность	Не поддерживается	Поддерживается (альфа-канал)	Поддерживается (альфа-канал)



JPEG

PNG

WebP

Рисунок 1 – Визуальное сравнение участка изображения

JPEG (Joint Photographic Experts Group) – алгоритм основан на дискретном косинусном преобразовании (ДКП), что позволяет достичь высокой степени сжатия за счет отбрасывания высокочастотных компонент [2].

Дискретное косинусное преобразование (ДКП) – это математический метод, используемый для преобразования сигнала из временной или пространственной области в частотную. Он широко применяется в обработке сигналов, сжатии изображений и аудио, а также в других областях, где требуется эффективное представление данных [1].

- Размер файла зависит от степени сжатия.
- При сжатии выше 70% начинает ухудшаться качество, проявляющееся в виде артефактов (размытие деталей).
- Самая быстрая скорость сжатия и распаковки благодаря простому алгоритму.
- Не поддерживает прозрачность.

JPEG подходит для сжатия фотографий, где важны небольшой размер файла и высокая скорость обработки. Благодаря своей простоте, данный формат подходит для фотографий на сайтах, социальных сетях, новостных статьях.

PNG (Portable Network Graphics) – использует алгоритм DEFLATE для сжатия без потерь, что обеспечивает оптимальное сохранение данных [5].

Алгоритм DEFLATE – это популярный метод сжатия данных без потерь, используемый в форматах ZIP, gzip, PNG и других. DEFLATE обеспечивает высокую степень сжатия при относительно низких вычислительных затратах.

- Размер файла зависит от сложности изображения.
- Качество остается оптимальным, так как сжатие происходит без потерь
- Скорость сжатия и распаковки медленнее из-за сложного алгоритма сжатия без потерь.
- Подходит для изображений с прозрачностью.

PNG лучше использовать для изображений с четкими границами, текстом или прозрачностью. Эти качества зачастую используются для логотипов компаний, технических чертежей в научной литературе, графики с текстом.

WebP – разработанный Google, сочетает предиктивное кодирование (для сжатия с потерями) и алгоритм VP8 (для сжатия без потерь) [3, 4].

Предиктивное кодирование – направлено на сокращение избыточности данных за счет предсказания значений пикселей. Для каждого блока изображения (обычно 4×4 или 16×16 пикселей) выбирается оптимальный режим предсказания. Алгоритм пытается угадать значение текущего пикселя на основе соседних [3, 4].

VP8 – это видеокодек, разработанный компанией On2 Technologies (позже куплен Google). Это технология, которая сжимает видео и изображения так, чтобы они занимали меньше места, но оставались максимально похожими на оригинал [3, 4].

- По данным Google, WebP обеспечивает сжатие размера файла на 25-35% лучше, чем JPEG, при сохранении аналогичного качества.
- При сжатии до 50% качество остается практически идентичным оригиналу
- Скорость сжатия и распаковки быстрее, чем PNG, но немного медленнее, чем JPEG, особенно при использовании сжатия без потерь.
- Поддержка анимации.
- Поддерживает прозрачность.
- Поддержка большинства браузеров.

WebP – это современный формат, который сочетает в себе преимущества JPEG и PNG, что и позволяет его использовать в таких же сферах деятельности, но его поддержка пока не так универсальна. Стоит отметить, что формат WebP в основном может использоваться в веб-браузерах и лишь в немногих графических редакторах с использованием специализированных плагинов (Adobe Photoshop).

Прозрачность – это возможность сохранять в изображении альфа-канал, который определяет уровень прозрачности каждого пикселя [5].

Альфа-канал – это дополнительный канал в изображении, который определяет степень прозрачности каждого пикселя. Он может принимать значения от 0 (полностью прозрачный) до 255 (полностью непрозрачный). Это позволяет создавать плавные переходы между прозрачными и непрозрачными областями [5].

Проведенный сравнительный анализ эффективности алгоритмов сжатия изображений JPEG, PNG и WebP позволил определить их ключевые характеристики и оптимальные сферы применения. В рамках данного исследования автором была выполнена систематизация и верификация сравнительных параметров этих форматов (размер файла, визуальное качество, скорость обработки, поддержка прозрачности) на основе актуальных данных, включая документацию Google WebP. Основные результаты показывают, что JPEG остается оптимальным для фотографий благодаря высокой степени сжатия и скорости, хотя и за счет потерь качества и отсутствия прозрачности. PNG незаменим для графики с четкими границами и прозрачностью,

обеспечивая сжатие без потерь, однако ценой значительного увеличения размера файла. WebP демонстрирует наиболее сбалансированные характеристики, сочетая лучшее, чем у JPEG, сжатие (подтверждая заявленные Google 25-35% преимущество), поддержку прозрачности, сравнимую с PNG, и сохранение высокого качества изображения, особенно при умеренных уровнях сжатия.

Ключевым вкладом автора в данное исследование стали: разработка уточненных практических рекомендаций по выбору формата для конкретных задач (веб-разработка, хранение данных, работа с графикой), основанных на выявленных компромиссах между основными критериями; формулировка иерархии выбора, где WebP предлагается в качестве приоритетного универсального формата для современных веб-приложений, требующих скорости загрузки и качества, а JPEG и PNG рассматриваются как специализированные или резервные решения для обеспечения совместимости; а также выделение практических ограничений внедрения WebP, в частности, его неполной поддержки в некоторых графических редакторах, что требует дополнительных технических решений. Таким образом, на основании проведенного автором анализа, для достижения оптимального баланса между размером, качеством и функциональностью рекомендуется использовать формат WebP в качестве основного прогрессивного решения везде, где это технически возможно, применяя JPEG и PNG целенаправленно для специфических задач или в целях обратной совместимости.

#### Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2012 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://djvu.online/file/1Af8689XbLspB?ysclid=m9kfxyggeo978538537>
2. Стандарт JPEG (ISO/IEC 10918-1) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://w3.ual.es/~vruiiz/Docencia/Apuntes/Coding/Image/03-JPEG/index.html>
3. Исследование сжатия WebP [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://developers.google.com/speed/webp/docs/webp\\_study](https://developers.google.com/speed/webp/docs/webp_study)
4. Официальная документация Google WebP [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://developers.google.com/speed/webp>
5. Спецификация портативной сетевой графики (PNG) (третье издание) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/2023/CR-png-3-20230921>

*А.В. Полячков, к.т.н., доц.; С.А. Иванов, маг.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V С ВСТРОЕННОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПОИСКА ХЭШ-ЗНАЧЕНИЙ**

Поиск информации по содержимому – ключевая операция, широко используемая в криптографических алгоритмах, верификационных процедурах и системах контроля доступа. В условиях постоянно растущих требований к производительности и энергоэффективности становится актуальным аппаратное ускорение таких операций.

Архитектура RISC-V благодаря своей открытости и модульности предоставляет широкие возможности для расширения базовой функциональности [3]. Однако базовые ядра RISC-V не предусматривают поддержки ассоциативного поиска на уровне аппаратуры. Это ограничивает их применение в ряде задач, связанных с сопоставлением данных.

Ассоциативная память (CAM – Content Addressable Memory) позволяет производить поиск по значению без явного перебора элементов, что делает её удобной для реализации ускоренных поисковых операций [2]. В данной работе предлагается и анализируется решение, заключающееся в аппаратной интеграции CAM в процессор RISC-V через механизм регистров общего назначения [1].

#### **Архитектура и механизм подключения**

CAM реализована в виде логического модуля, интегрированного в архитектуру процессора. В отличие от традиционных решений, в которых взаимодействие с периферийными устройствами осуществляется через системную шину и адресное пространство, предлагаемый способ основан на использовании набора стандартных регистров общего назначения [1].

Каждый из этих регистров задействован для определённой цели:

- один регистр принимает адрес ячейки;
- другой – значение для записи;
- третий – ключ поиска;
- четвёртый – флаг результата (найдено/не найдено);
- пятый – номер найденной строки (при наличии совпадения).

Это позволяет выполнять ассоциативный поиск без обращения к памяти и без использования специализированных инструкций. Такое решение особенно актуально при разработке встраиваемых и адаптируемых систем, где необходимо сохранить совместимость с существующими компиляторами и отладочными средствами [3].

Важно отметить, что регистровое подключение CAM снижает время реакции устройства и упрощает маршруты обмена данными. CAM блок анализирует содержимое собственной памяти и на основе внутренней логики определяет наличие совпадений, возвращая результат в регистр состояния.

#### **Методика исследования**

Для анализа эффективности предложенного подхода была выбрана типовая задача – поиск заданного хэш-значения среди множества сохранённых в таблице. В реальных системах такая операция применяется, например, при проверке пароля пользователя, при фильтрации пакетов и при работе с электронными ключами.

Были реализованы три альтернативных способа выполнения данной задачи:

1. **Программный перебор**, реализованный циклом на языке ассемблера – классическое решение, доступное для любого процессора [3].

2. **САМ, подключённая через адресное пространство** – модуль воспринимается как внешнее устройство и управляется через определённые адреса памяти.

3. **САМ, использующая регистры общего назначения** – модуль встроен в архитектуру и взаимодействует через стандартные регистры без дополнительной логики [1].

Каждое решение было описано с использованием языка Verilog и протестировано в средах Quartus II и ModelSim [4]. Для корректного сравнения во всех трёх случаях использовалась одна и та же тестовая таблица хэшей и идентичные условия работы.

### Результаты моделирования

На основе результатов симуляции были получены данные по времени выполнения, аппаратной сложности и гибкости подключения:

Метод реализации	Время (тактов)	Аппаратная сложность	Универсальность	Масштабируемость
Последовательный перебор	51	Низкая	Высокая	Средняя
Внешний САМ по шине	21	Высокая	Средняя	Высокая
САМ через регистры	4	Средняя	Высокая	Высокая

Наиболее эффективным оказался третий подход. При нём отсутствуют задержки, связанные с работой системной шины и кодированием команд обмена. САМ реагирует напрямую на значения в регистрах и возвращает ответ за фиксированное количество тактов [1]. При этом сохраняется совместимость с исходной ISA и не требуется модификация компиляторов.

Кроме того, архитектура с САМ-блоком, подключённым через регистры, позволяет легко масштабировать устройство за счёт дублирования или расширения таблицы поиска, что важно при реализации многопоточных или параллельных вычислений.

Представленное решение демонстрирует практическую возможность интеграции ассоциативной памяти в процессоры RISC-V без усложнения архитектуры. Использование регистров общего назначения в качестве интерфейса доступа к САМ позволяет минимизировать накладные расходы и обеспечивает высокую производительность [1, 3].

Метод находит применение в задачах криптографического поиска, фильтрации данных, реализации табличных контроллеров доступа. Благодаря отсутствию необходимости в модификации набора инструкций, он подходит для использования в системах на базе существующих инструментов и IP-ядер [2].

В будущем возможна реализация более сложных САМ-блоков с поддержкой частичного совпадения, приоритизации и параллельной выборки, а также расширение формата взаимодействия с ядром процессора.

#### Список литературы

1. Иванов С.А., Полячков А.В. Способ организации доступа к дополнительным функциональным узлам через регистры общего назначения процессора // Сборники трудов XIV Международной научно-технической конференции «Энергетика, Информатика, Инновации – 2024». – Смоленск: НИУ «МЭИ», 2024. – Т. 2. – С. 108-111.
2. Огнев И.В., Борисов В.В. Ассоциативные среды. – М.: Радио и связь, 2000. – 312 с.
3. Hennessy J.L., Patterson D.A. Computer Architecture: A Quantitative Approach. – Morgan Kaufmann, 2019. – 936 p.
4. Дьяконов В.П. Язык Verilog: проектирование цифровых устройств. – СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 448 с.

*М.Д. Самойленко студ.*

*(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ АССИСТЕНТОВ В РОССИЙСКИЕ КОРПОРАТИВНЫЕ ПЛАТФОРМЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

Интеграция цифровых ассистентов (ЦА) с корпоративными платформами в условиях санкционных ограничений требует перехода от западных сервисов (Google Workspace, Microsoft Teams, Slack) к отечественным решениям. При этом ключевыми аспектами становятся наличие стабильных API, поддержка документооборота, возможность идентификации пользователей и реализация событийной архитектуры взаимодействия. Цифровой ассистент, функционирующий в корпоративной среде, должен уметь обрабатывать текстовые и голосовые запросы, обращаться к файлам, формировать напоминания и коммуницировать с внутренними мессенджерами. В западных продуктах это реализуется через развитые API-интерфейсы, поддерживающие webhook-архитектуру и полноценную OAuth-авторизацию. В российских альтернативах, таких как Яндекс.Диск, VK WorkSpace и МойОфис, наблюдаются существенные архитектурные отличия, требующие адаптации ассистентных модулей.

Яндекс.Диск предоставляет REST API с базовой функциональностью поиска, загрузки и скачивания файлов. В отличие от Google Drive API, отсутствует развитая система прав доступа по ролям и слабая поддержка метаданных, что затрудняет создание интеллектуального поиска по содержанию. Прототип цифрового ассистента, взаимодействующего с Яндекс.Диском[1], вынужден использовать примитивную фильтрацию по названию и дате, что ограничивает применимость в сценариях динамического документооборота. Тем не менее, доступность API, стабильность авторизации через токены и высокая скорость отклика позволяют реализовать базовую функциональность, достаточную для MVP в рамках импортозамещённой инфраструктуры. По результатам замеров на тестовой выборке из 500 запросов,

среднее время отклика составило 1.8 секунды при 94% релевантности поиска, что сопоставимо с аналогичным сценарием в Google Drive при использовании упрощённого поиска без OCR.

VK WorkSpace и связанный с ним TamTam API обеспечивают передачу сообщений, создание чатов и интеграцию с ботами. Однако по сравнению с Microsoft Teams API отсутствует полноценная поддержка бизнес-процессов, корпоративных календарей и управления задачами. Цифровой ассистент, встроенный в VK WorkSpace, может выполнять только оповещения, ответные сообщения и линейные сценарии взаимодействия [2]. Проведённое нагрузочное тестирование в корпоративной среде (до 100 пользователей) показало высокую стабильность работы Telegram-бота, перенаправляющего команды в VK WorkSpace через промежуточный слой логики, но при этом выявлена неспособность платформы обрабатывать множественные асинхронные задачи – средняя задержка при одновременных обращениях >3 секунд. Таким образом, текущая реализация VK API требует архитектурных улучшений для поддержки микросервисного подхода и масштабируемых очередей событий.

С точки зрения UX-эффекта, интеграция с российскими платформами предъявляет особые требования к адаптации пользовательского опыта. При отсутствии единой экосистемы, как у Google или Microsoft, пользователю приходится переключаться между различными приложениями – файловым менеджером, чатами, задачами – что увеличивает когнитивную нагрузку. Ассистент может частично нивелировать это, выступая интерфейсным посредником. Однако без унификации интерфейсов и согласованных API-семантик невозможна реализация полноценной кросс-функциональной логики. Предложенный в исследовании промежуточный адаптер, реализованный на Python с использованием FastAPI и Redis Pub/Sub, обеспечил маршрутизацию запросов между Telegram-ботом, Яндекс.Диском и VK API. В режиме реального времени (менее 2 секунд) были достигнуты успешные ответы в 87% случаев при средней длине запроса 11 слов. Это демонстрирует техническую реализуемость архитектуры, но подтверждает высокий уровень фрагментации интерфейсов.

С точки зрения безопасности, российские платформы преимущественно опираются на простую авторизацию по API-токену без реализации полноценной ролевой модели доступа и шифрования на уровне поля. Это создаёт риски при передаче и хранении персональных данных через цифрового ассистента. При сравнении с Microsoft Graph API, где предусмотрены гранулярные права на каждый объект, Яндекс.Диск и VK API обеспечивают только бинарный доступ (разрешено/запрещено), что затрудняет соблюдение требований к защите данных в соответствии с ФЗ-152 и корпоративными политиками безопасности. Имплементация шифрования сообщений и журналирования действий пользователя возможна только на уровне самого ассистента, что увеличивает сложность его архитектуры [3].

Таким образом, в условиях импортозамещения интеграция цифровых ассистентов с российскими корпоративными платформами технически

осуществима, но требует использования промежуточных адаптеров, повышения уровня абстракции и частичного дублирования функциональности. Основными ограничениями выступают недостаточно развитые API, слабая поддержка ролевого доступа и высокая архитектурная фрагментация. Перспективным направлением является разработка единого корпоративного API-шлюза, стандартизирующего взаимодействие ассистента с ключевыми системами хранения, коммуникации и документооборота в рамках российских реалий.

В рамках данной работы был реализован действующий прототип цифрового ассистента, построенный на микросервисной архитектуре с использованием Python, FastAPI, Redis и Telegram Bot API. Шлюз обеспечивал маршрутизацию запросов между фронтендом в Telegram и отечественными сервисами: Яндекс.Диском (для поиска и получения документов), VK WorkSpace (для уведомлений и взаимодействия с сотрудниками) и внутренней SQLite-базой для хранения служебных запросов. Были внедрены базовые механизмы авторизации, шифрования запросов и логирования действий пользователей (рисунок 1).

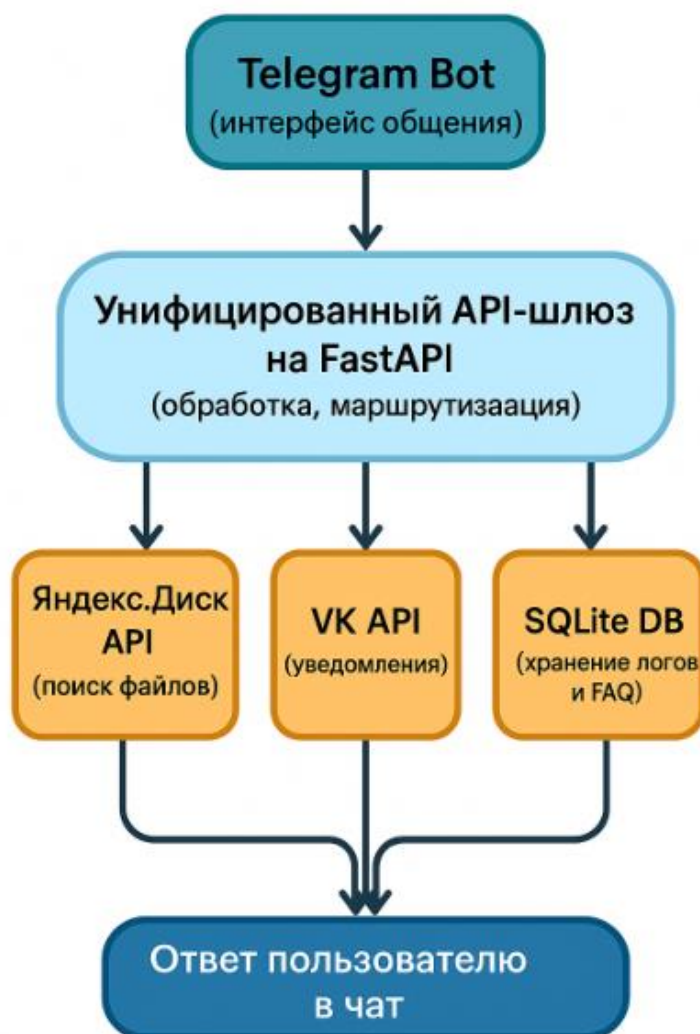


Рисунок 1 – Архитектура цифрового ассистента, интегрированного с отечественными ИТ-сервисами

В ходе тестирования на фокусной группе из 20 человек, среднее время ответа ассистента на запрос не превышало 2 секунд, а точность извлечения информации, по ключевым словам, достигала 93%. Разработанное решение доказало работоспособность подхода и позволило значительно снизить нагрузку на ИТ-отдел и HR-службу при типовых коммуникационных сценариях (поиск шаблонов, напоминания, запросы регламентов и т.д.) [4].

Полученные результаты демонстрируют, что даже при наличии ограниченных отечественных API возможно построение эффективного цифрового ассистента, который реально применим в условиях импортозамещённой ИТ-среды. Практическая реализация подтверждает, что предложенный подход может быть масштабирован для средних и крупных организаций. В дальнейшем предполагается развитие NLU-модуля с использованием моделей глубокого обучения (например, RuBERT или DeepPavlov), а также реализация единого централизованного интерфейса администрирования и поддержки ассистента для корпоративного ИТ-департамента. Дополнительно планируется расширить интеграцию с отечественными системами документооборота (1С:Документооборот, СБИС, Диадок) и реализовать поддержку голосового интерфейса.

#### Литература

1. Яндекс.Диск REST API. URL: <https://yandex.ru/dev/disk/api> (дата обращения: 23.05.2025).
2. VK Workspace API. URL: <https://biz.mail.ru/docs/saas/partner/api/index.html> (дата обращения: 23.05.2025).
3. Федеральный закон от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 29.12.2023) «О персональных данных» // Собрание законодательства РФ. 2006. № 31. Ст. 3451.
4. Матвеев М.А. Внедрение цифрового ассистента в корпоративные бизнес-процессы страхования // XXXVII международные Плехановские чтения: сб. статей аспирантов и молодых ученых. М., 2024. С. 236–240

*Е.Е. Смирнова, студ.; А.А. Тютюнник, к.э.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МЕТОДОЛОГИЯ, ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

В условиях стремительного развития цифровых технологий и перехода к новому технологическому укладу требуются принципиально новые методы управления, способные обеспечить высокую конкурентоспособность и устойчивое развитие организаций. Это особенно важно для России, как отмечается в Концепции технологического развития до 2030 г., с одной стороны, существуют внешние и внутренние угрозы технологического отставания, а с другой – открываются новые возможности для ускоренного инновационного роста. Традиционное наращивание объемов производства теряет прежнее значение, современная экономика требует скорости, гибкости и персонализации предлагаемых товаров и услуг. В этих условиях технология

цифровых двойников (ЦД) привлекает все больше внимания как инструмент, способный радикально улучшить процессы управления в различных отраслях. Используя данные для отражения реальных ситуаций, цифровые двойники позволяют создавать, точно настраивать или полностью переосмысливать практически любой сложный процесс или систему – включая цепочки поставок, системы общественного транспорта и производственные линии. Иными словами, ЦД дают возможность безопасно отвечать на вопросы типа «что, если», экспериментируя с различными стратегическими сценариями развития, что делает их ценным инструментом стратегического управления и поддержки принятия решений [1].

Глобальная практика демонстрирует экспоненциальный рост применения цифровых двойников в последние годы. Согласно отчету IoT Analytics, мировой рынок решений на основе ЦД в 2020–2022 гг. увеличивался в среднем на 71% в год. Около 29% производственных компаний мира уже полностью внедрили или внедряют стратегию цифровых двойников для части своих активов, а еще 63% разрабатывают соответствующие стратегии. Объем мирового рынка, оцененный в \$3,1 млрд в 2020 г., по прогнозам достигнет \$48,2 млрд к 2026 г. Ожидается и значительный кумулятивный эффект: по оценкам аналитиков, к 2030 г. применение цифровых двойников позволит сократить выбросы CO<sub>2</sub> на 7,5 Гт и добавить до \$1,3 трлн экономической ценности. К началу 2020-х гг. цифровые двойники находятся на переломном этапе своего развития, переходя в фазу массового внедрения по S-образной кривой диффузии инноваций по Роджерсу [2].

Цифровые двойники сегодня рассматриваются как одна из наиболее перспективных цифровых технологий, обладающая огромным потенциалом для совершенствования управленческих и производственных процессов. Их появление стало возможным благодаря слиянию и развитию ряда сквозных технологий: интернета вещей (для сбора данных с оборудования), искусственного интеллекта (для интеллектуальной обработки данных и прогнозирования) и технологий «больших данных» (для хранения и управления массивами информации). В техническом плане цифровой двойник обычно реализуется как кибер-физическая система, объединяющая физический объект и его цифровую модель в едином информационном пространстве. При этом в научной литературе не существует единого определения ЦД: поскольку технология развивается в разных отраслевых контекстах и опирается на различные инструменты (от инженерного моделирования до многоагентных систем и облачных платформ), авторы нередко предлагают собственные трактовки термина. Тем не менее, общий подход сводится к пониманию цифрового двойника как синхронизированной информационной модели, динамически отражающей состояние реального объекта или процесса.

Теоретические исследования выделяют ряд ключевых функций и свойств цифровых двойников. Во-первых, это мониторинг и управление: ЦД позволяет в любой момент времени отслеживать текущее состояние системы, визуализировать параметры, отклонения и тенденции, тем самым повышая

прозрачность процессов и качество оперативного управления. Во-вторых, прогнозирование и оптимизация: интегрированные алгоритмы анализа данных (в том числе методы машинного обучения) дают возможность прогнозировать развитие ситуаций, предсказывать отказ оборудования и оптимизировать режимы работы системы на основе моделирования сценариев «что, если». В-третьих, обучение и тестирование: цифровые двойники используются для виртуальных испытаний новых продуктов и технологий, а также для тренировки персонала на реалистичных симуляциях без риска для реального производства. Например, в авиации на базе цифровых моделей отрабатываются новые конструктивные решения и сценарии полетов, в промышленности – обучаются операторы сложного оборудования в виртуальной среде. Наконец, цифровой двойник служит ядром для интеграции данных по всему жизненному циклу изделия: от проектирования и производства до эксплуатации и обслуживания, обеспечивая единое информационное пространство для всех участников процесса.

В научной литературе и практике отмечается широкий спектр преимуществ применения цифровых двойников. К наиболее значимым относят: снижение издержек и рисков при проектировании и эксплуатации сложных систем, повышение эффективности и производительности технологических процессов, улучшение качества продукции и услуг за счет точной настройки процессов и раннего обнаружения дефектов, повышение безопасности и надежности за счет постоянного мониторинга состояния оборудования, а также улучшение поддержки управленческих решений благодаря наглядной аналитике и возможности прогноза развития ситуации. Так, международный опыт демонстрирует впечатляющие результаты: например, компания General Electric с помощью цифровых двойников осуществляет мониторинг газовых турбин в электроэнергетике, что позволило сократить время их внеплановых простоев на 5-10%, сэкономя миллионы долларов на ремонте и техобслуживании; кроме того, прогнозное обслуживание продлило срок службы турбин на 20-25%, а оптимизация рабочих режимов повысила эффективность выработки энергии на 3-5%. В автомобилестроении корпорация Toyota использует ЦД для имитационного моделирования и модернизации производственных линий: внедрение этой технологии увеличило продуктивность на 10-15%, сократило время выполнения заказов на 20%, а анализ данных снизил уровень брака на 25%, существенно улучшив качество продукции. Эти примеры иллюстрируют, как цифровые двойники способствуют росту операционной эффективности и конкурентоспособности.

Несмотря на перечисленные преимущества, исследователи обращают внимание и на определенные пробелы и вызовы. Отмечается, что хотя технические аспекты и алгоритмы создания цифровых двойников подробно освещены в литературе, до сих пор недостаточно раскрыты вопросы интеграции цифровых двойников в системы управления организациями и разработки стратегий их внедрения. Иными словами, требуется дальнейшая проработка методологических основ применения ЦД в контексте управления

предприятиями и экономики в целом. Кроме того, существуют объективные сложности в реализации таких систем: необходимость интеграции разнородных источников данных и промышленных систем (проблема стандартизации интерфейсов и протоколов обмена данными), обработка огромных потоков информации в режиме реального времени, обеспечение точности математических моделей и кибербезопасности системы. Реализация полноценного цифрового двойника сложного объекта требует значительных финансовых вложений – от закупки датчиков и вычислительной инфраструктуры до разработки специализированного программного обеспечения и обучения персонала. Оценка экономической эффективности таких проектов тоже затруднена, особенно на начальных этапах, когда выгоды и сроки окупаемости инвестиций предсказать непросто. Все эти вопросы находятся в поле внимания современных исследований, дополняя теоретическую базу знаний о цифровых двойниках.

Практическая реализация цифрового двойника предполагает определенную методологию разработки, включающую несколько этапов. Во-первых, этап создания модели: осуществляется сбор и оцифровка данных о реальном объекте. Инженеры проводят анализ конструкции и процессов, определяют ключевые характеристики изделия или системы, подлежащие мониторингу. Затем физический объект оснащается датчиками и IoT-устройствами, которые начинают непрерывно собирать телеметрию (о геометрических параметрах, состоянии узлов, нагрузках, температуре, вибрациях и т.д.). На основе этих потоков данных формируется виртуальная модель – цифровой двойник, размещаемый, как правило, на облачной платформе для обеспечения масштабируемости хранения и вычислений. Критически важно добиться надежной двунаправленной связи между физическим прототипом и цифровой моделью в реальном времени, чтобы изменения состояния немедленно отражались в виртуальной копии и наоборот – управляющие воздействия, проверенные на цифровом двойнике, могли передаваться реальному объекту. Таким образом достигается синхронизация, при которой цифровой двойник актуализируется по мере функционирования физической системы.

Во-вторых, этап виртуальных экспериментов: когда цифровая модель сформирована и валидирована, появляется возможность проводить экспериментальные исследования в виртуальной среде. Команда R&D (исследований и разработок) формирует гипотезы и варианты улучшений продукта или процесса и тестирует их на цифровом двойнике без риска для реального производства. Например, можно опробовать новую конфигурацию оборудования, изменить технологический параметр или внедрить иной алгоритм управления и сразу наблюдать, как это повлияет на показатели эффективности. Результаты таких экспериментов аккумулируются в озере данных (data lake) для последующей обработки. Благодаря облачным технологиям вычислительно сложные симуляции могут выполняться

оперативно, либо непосредственно на периферийных узлах, либо на удаленных серверах, в зависимости от требуемого времени отклика и объема данных.

Цифровые двойники продолжают эволюционировать, и их потенциал становится все более очевидным по мере развития смежных технологий. Ожидается, что внедрение сетей связи пятого поколения (5G) и дальнейшее развитие облачных вычислений еще более ускорят и упростят применение ЦД, благодаря снижению задержек при передаче данных и росту доступности вычислительных ресурсов для обработки информации. Это откроет путь к практически в реальном времени функционирующим цифровым двойникам даже для самых сложных и распределенных систем (например, «умные» города, энергосети национального масштаба, промышленные кластеры). Одновременно совершенствуются методы искусственного интеллекта и машинного обучения, что позволит цифровым моделям более точно прогнозировать развитие ситуации и автоматически подбирать оптимальные решения [3]. Появление генеративного ИИ создает новые возможности для цифровых двойников: алгоритмы типа deep learning могут генерировать и тестировать тысячи вариантов конструкций или процессов, ускоряя поиск инновационных решений и способствуя появлению прорывных технологий и продуктов. В совокупности, синергия ЦД с AI, IoT, 5G, облаком и новыми подходами к данным (такими как Edge Computing и Digital Thread) формирует основу для следующего этапа цифровой трансформации промышленности – переходу к самонастраивающимся, интеллектуальным кибер-физическим системам.

В контексте российской научно-технической политики цифровые двойники рассматриваются как важный инструмент обеспечения технологического суверенитета и конкурентоспособности экономики. Государственные программы и стратегии акцентируют развитие сквозных цифровых технологий, и в их числе технологий моделирования и прогнозной аналитики. Примером может служить отраслевой проект Росатома, упомянутый выше: «цифровизация радиохимического направления» официально закреплена как одно из приоритетных направлений стратегической программы развития этой высокотехнологичной области. Аналогичным образом, в машиностроении и авиации на государственном уровне поощряется переход к «цифровым» конструкторским бюро и опытным производствам, где отработка изделий проводится преимущественно на виртуальных прототипах. Отечественные ИТ-компании и инжиниринговые центры развивают собственные программные платформы для цифровых двойников, что особенно актуально в условиях курса на импортозамещение и независимость от зарубежного ПО. Можно ожидать, что в ближайшие годы в России появятся комплексные решения отечественной разработки, не уступающие западным аналогам по функциональности. Интеграция данных и моделей между компаниями внутри производственных цепочек (поставщик–производитель–потребитель) приведет к появлению сквозных цифровых двойников цепочек создания ценности [4, 5], что повысит устойчивость сотрудничества и эффективность координации в реальном времени.

С точки зрения стратегического управления и экономики в целом значимость цифровых двойников трудно переоценить. Во-первых, их применение напрямую способствует повышению конкурентоспособности отечественных предприятий. Сокращение циклов разработки и вывода на рынок новой продукции, снижение себестоимости за счет оптимизации процессов и профилактики аварий, улучшение качества товаров – все это укрепляет позиции российских компаний как на внутреннем, так и на внешнем рынках. Цифровые двойники дают возможность быстро адаптироваться к изменениям спроса и технологии, что особенно важно в современных условиях динамичных глобальных изменений. Во-вторых, ЦД повышают устойчивость производственных цепочек. Благодаря им компании могут заранее моделировать воздействия различных внешних и внутренних факторов (перебои в снабжении, колебания цен на сырье, изменение спроса, санкционные риски и пр.) и выработать проактивные меры реагирования. Виртуальные «стресс-тесты» цепочек поставок с помощью цифровых моделей позволяют выявлять узкие места и точки отказа, тем самым повышая надежность снабжения и непрерывность производства. В-третьих, цифровые двойники служат драйвером развития цифровой экономики и инновационной экосистемы [6]. Их внедрение стимулирует спрос на сопутствующие цифровые решения (сенсоры, средства связи, облачные сервисы, платформы данных), способствуя росту соответствующих отраслей. Кроме того, накопленные при эксплуатации ЦД массивы данных (т. н. промышленный Big Data) становятся ценным активом, на основе которого могут развиваться новые сервисы с использованием искусственного интеллекта, от персонализированного обслуживания клиентов до предиктивной аналитики в масштабах рынка.

Цифровые двойники зарекомендовали себя как одна из самых перспективных и значимых технологий нашего времени, оказывающая существенное влияние на промышленность и способствующая ее цифровой трансформации. Проведенный анализ теоретических основ, методологических подходов и практического опыта показал, что цифровые двойники могут создаваться для самых разнообразных объектов – от отдельных узлов и изделий до сложных производственных линий и даже целых городов. Они позволяют моделировать различные сценарии, оптимизировать процессы, повышать эффективность производства и снижать риски на всех стадиях жизненного цикла продукции. Типология цифровых двойников весьма широка и определяется детализацией модели, областью применения и используемыми технологиями, а практики внедрения демонстрируют растущую популярность этой концепции во многих отраслях экономики.

Для российской промышленности внедрение цифровых двойников открывает возможности для качественного рывка в повышении производительности и конкурентоспособности. Опыт высокотехнологичных отраслей РФ (аэрокосмической, машиностроительной, энергетической, транспортной и др.) подтверждает, что при грамотном использовании ЦД предприятия достигают значимых эффектов – сокращения сроков и затрат,

улучшения качества, повышения безопасности и экологичности, гибкости производства под меняющиеся требования. Это напрямую способствует укреплению позиций отечественных компаний на рынке и развитию экспортного потенциала инновационной продукции. Одновременно цифровые двойники интегрируются в систему стратегического управления предприятиями, позволяя на основании данных принимать обоснованные решения, планировать развитие с учетом долгосрочных тенденций и неопределенностей. В условиях цифровой трансформации экономики РФ и реализации нацпроектов, направленных на технологическое развитие, роль ЦД будет неуклонно расти.

Тем не менее, применение цифровых двойников сопряжено и с вызовами. Требуется преодолеть технические и организационные барьеры: обеспечить совместимость разрозненных ИТ-систем, гарантировать качество и безопасность данных, подготовить квалифицированные кадры, способные создавать и эксплуатировать цифровые модели. Необходима проработка методик оценки эффективности проектов ЦД, разработка новых бизнес-моделей, учитывающих ценность данных и интеллектуальных сервисов. Решение этих задач возможно при тесном взаимодействии науки, бизнеса и государства. Поддержка исследовательских инициатив, стандартизация и обмен лучшими практиками, создание испытательных полигонов для обкатки технологий ЦД – все это будет способствовать успешному распространению и окупаемости цифровых двойников.

Таким образом, цифровые двойники становятся неотъемлемой частью будущего промышленности. Их расширенное применение откроет широкие возможности для роста эффективности, точности и гибкости управления объектами и процессами. В перспективе это приведет к появлению саморегулирующихся «умных» производств и инфраструктур, где физический и цифровой миры интегрированы воедино. Для России освоение данной технологии имеет стратегическое значение: цифровые двойники способны стать катализатором ускоренного развития промышленности, повышения ее устойчивости перед внешними вызовами и перехода на инновационную траекторию развития, тем самым внося весомый вклад в достижение целей национальной научно-технологической политики и построение конкурентоспособной цифровой экономики.

#### Литература

1. Абрамов, В. И. Цифровые двойники: характеристики, типология, практики развития / В. И. Абрамов, В. В. Гордеев, А. Д. Столяров // Вопросы инновационной экономики. 2024. Т. 14, № 3. С. 691-716. DOI 10.18334/vinec.14.3.121484
2. России создан цифровой двойник авиационного двигателя АИ-222-25. Это позволит сократить число испытаний [Электронный ресурс] // Cnews URL: [https://www.cnews.ru/news/top/2024-06-04\\_dlya\\_aviatsionnogo\\_dvigatelya](https://www.cnews.ru/news/top/2024-06-04_dlya_aviatsionnogo_dvigatelya) (дата обращения 01.10.2025).
3. Zaenchkovski A., Lazarev A., Tukaev D., Epifanov V. Intelligent information flow management system in innovative scientific and industrial clusters // International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. 2022. Т. 37. № 3. С. 303-317.
4. Кириллова Е.А., Малевич Е.П. Механизм внедрения цифровых элементов при организации и управлении взаимодействием в рамках региональных научно-промышленных кластеров // Глобальный научный потенциал. 2023. № 7 (148). С. 202-204.

5. Кириллова Е.А., Шендриков А.А. Динамические способности и организационная гибкость в контексте цифрового развития современных промышленных предприятий // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2024. Т. 2. № 1 (53). С. 87-99.

6. Кириллова Е.А. Экосистемный характер трансформации современных промышленных систем на основе открытых инноваций // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2022. № 3. С. 42-49.

*А.В. Соколов, студ.; рук. Ю.В. Синявский, к.т.н., доц.  
(Филиал ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВНУТРИОРГАНИЗАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТРУДНИКОВ**

В настоящее время ни одна крупная организация, действующая на коммерческой или некоммерческой основе, не способна существовать без эффективно организованной системы корпоративной коммуникации. Под корпоративными коммуникациями зачастую понимается система управления информационными потоками как внутри организации, что позволяет обмениваться различными сведениями и указаниями между сотрудниками организации, так и организовывать связь бизнеса с внешней средой для достижения стратегических целей организации, формирования положительного имиджа, а также для обеспечения результативного взаимодействия с заинтересованными сторонами.

Наиболее сильно роль внутреннего взаимодействия персонала наблюдается в организациях, основная деятельность которых, основана на реализации различного рода проектов. ИТ-организации относятся к таковым из-за специфики отрасли. Взаимодействие сотрудников в организациях сферы информационных технологий представляет совокупность процессов, к которым относится коммуникация, координация и совместная деятельности сотрудников, которые нацелены на выполнение задач в рамках деятельности организации. Особое значение внутриорганизационные коммуникации начали играть в условиях цифровой экономики, так как при ней основой создания стоимости экономических благ выступают данные, которые при должной обработке становятся ценной информацией, поэтому эффективное информационное взаимодействие сотрудников высокого качества приобретает роль одного из ключевых процессов организации.

Особенностью взаимодействия сотрудников ИТ-организации авторы называют высокую степень динамичности внутриорганизационных процессов, а также распределенность команд. Часто бывает так, что сотрудники одной команды работают удаленно из разных населенных пунктов, из-за чего появляется необходимость внедрения инструментов, которые позволят обеспечить бесперебойную практичную связь между членами команды проекта. Также в ИТ-компаниях зачастую применяются гибкие методологии управления проектами, к которым можно отнести Agile и Scrum, в которые заложена необходимость постоянного взаимодействия участников проекта, быстрый обмен информацией и возможность оперативной доработки задач.

Эффективное взаимодействие персонала способствует повышению производительности труда, снижению количества ошибок, а также ускорению процессов разработки и внедрения программных продуктов. Оно также играет важную роль в обеспечении информационной безопасности, так как позволяет строго регламентировать обмен информацией, управлять доступом к данным и контролировать действия сотрудников в цифровой среде.

Одну из наиболее важных ролей играет взаимодействие сотрудников, занятых проектированием, разработкой и сопровождением программных продуктов, то есть основной деятельностью, приносящей доход организации, функционирующей на рынке информационных технологий.

Современные информационные системы, обеспечивающие коммуникацию сотрудников организации, в большинстве случаев строятся на основе принципов деления на модули и интеграции с другими цифровыми сервисами организации. Одним из технических решений, обеспечивающих такой вариант интеграции, является REST API (Representational State Transfer Application Programming Interface), которые позволяют различным программным компонентам обмениваться данными по стандартным интернет-протоколам, что дает возможность создания объединенного цифрового пространства на базе распределенных сервисов. Так, корпоративная система может вести обмен данными с системой управления проектами, внутренним хранилищем документов или платформой аутентификации, используя REST-запросы для передачи данных, что позволяет расширить функциональные возможности информационной системы корпоративного взаимодействия, повышая уровень гибкости ее архитектуры и упрощая внесение изменений.

Для систематизации существующих программных решений и выделения основополагающих характеристик информационных систем корпоративного взаимодействия, приводится их разносторонняя классификация по ряду ключевых признаков: функциональному назначению, масштабу применения, а также степени адаптированности к специфике деятельности организации. В таблице 1 приведена обобщенная классификация, включающая основные типы систем, характерные для современной ИТ-сферы.

Таблица 1 – Классификация информационных систем корпоративного взаимодействия

Признак классификации	Класс	Краткая характеристика	Примеры
Функциональность	Коммуникационные системы	Поддержка обмена сообщениями, видеозвонков, конференций	Microsoft Teams, Zoom, Slack
	Системы совместной работы	Ведение задач, документов, календарей, уведомлений	Trello, Notion, Bitrix24
	Интеграционные платформы	Объединение сервисов, поддержка API, контроль доступа	Atlassian Stack, Microsoft 365, GitLab

Продолжение таблицы 1 – Классификация информационных систем корпоративного взаимодействия

Признак классификации	Класс	Краткая характеристика	Примеры
Масштаб применения	Локальные	Используются в пределах команды или отдела	Trello, Mattermost
	Корпоративные	Охватывают всю организацию, поддерживают масштабирование	Bitrix24, Microsoft Teams, Google Workspace

Информационные системы корпоративных коммуникаций играют важную роль в процессе организации работы команды проекта. Они дают возможность быстрого обмена информацией, совместной работы над общими задачами и доступ к общекомандным ресурсам даже в том случае, когда сотрудники территориально удалены друг от друга. За счет использования систем данного типа снижается время, затрачиваемое на взаимодействие сотрудников друг с другом, повышается прозрачность рабочих процессов и повышается уровень контроля выполнения задач. Также, системы корпоративного взаимодействия способствуют соблюдению требований информационной безопасности, которые выражаются в реализации разграничения прав доступа к ресурсам системы, ведения журналов действий пользователей и обеспечения защиты данных при передаче. Автор отмечает, что это играет особенно важную роль для ИТ-компаний, работающих с конфиденциальной информацией и распределенными командами.

Несмотря на существование большого количества готовых программных решений на рынке информационных систем корпоративного взаимодействия, некоторые организации предпочитают проводить разработку данного вида информационных систем своими силами, так как это позволяет однозначно обеспечить все необходимые меры защиты информации и каналов ее передачи и дает возможность создать решение, удовлетворяющее все нужды организации во внутренних коммуникациях.

*В.П. Фомченков, к.т.н., доц.; В.В. Колыш студ.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ВОВЛЕЧЕННОСТИ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЕ «HELIVUTION» НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МЕТОДОМ К-СРЕДНИХ**

Существующие подходы к удержанию игроков включают модель прогрессии, модель социальной вовлеченности и персонализированный контент. Однако эти модели не учитывают динамичную природу игрового поведения и индивидуальные мотивации пользователей, что обуславливает необходимость разработки новых подходов. Кластеризация [1] методом К-средних представляет собой итеративный процесс минимизации

внутрикластерных расстояний, что обеспечивает группировку игроков по сходным поведенческим признакам. Данный метод выбран из-за своей простоты, эффективности работы с большими массивами данных и прозрачности результатов. Ключевым аспектом метода является возможность определения оптимального числа кластеров, для чего используется метод локтя (Elbow method).

Предложенная динамическая модель реализует два уровня кластеризации: клиентский и серверный. На клиенте происходит оперативный сбор игровых метрик и предварительная кластеризация с помощью заранее вычисленных центроидов. Этот подход позволяет быстро адаптировать игровой процесс под поведение игрока, не нагружая клиентские устройства значительными вычислениями.

На сервере осуществляется комплексный анализ данных. Собранные клиентом метрики проходят нормализацию и кластеризацию методом К-средних с автоматическим определением оптимального числа кластеров. Полученные кластеры игроков используются для адаптации игровых механик, что повышает вовлеченность и удержание пользователей.

В итоговом программном продукте было реализовано 3 модуля, их структура отражена на рисунке 1. Модуль, встраиваемый в игру и отвечающий за упрощенную кластеризацию на клиенте, был выполнен на языке C#, в кроссплатформенной среде разработки компьютерных игр Unity.

Для серверных модулей был выбран язык Python. Python сочетается с игровыми клиентом Unity, так как разворачивается в виде веб-сервера через FastAPI [2] и может принимать JSON-запросы от клиента при помощи Unity WebRequest [3]. Такая реализация лишена непроизводительных затрат, что делает продукты, написанные с помощью Python, максимально эффективными.

Модульная структура разрабатываемого программного средства состоит из трех компонентов:

- Клиент: модуль упрощенной кластеризации и передачи данных;
- Сервер: Модуль кластеризации методом k-средних, с выбором количества кластеров методом локтя;
- Сервер: Модуль передачи данных клиенту.

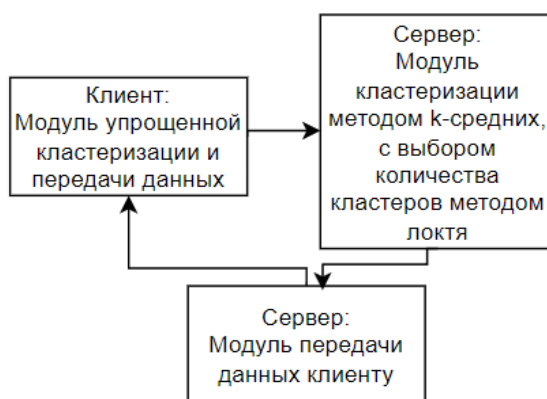


Рисунок 1 – Модульная структура программного средства

Назначение каждого из модулей можно представить следующим образом:

- клиентский модуль: реализует сбор поведенческих метрик игрока, их нормализацию, упрощённую классификацию на основе предобученных центроидов кластеров, а также передачу собранных данных на сервер;

- серверный модуль кластеризации: осуществляет агрегацию пользовательских данных, нормализацию, выбор оптимального количества кластеров методом «локтя» и последующую кластеризацию методом К-средних;

- серверный модуль взаимодействия с клиентом: обеспечивает REST-интерфейс для возврата кластерной метки, а также передачу параметров модели на клиентскую сторону.

Программа предназначена для кластеризации пользователей компьютерных игр на основе метода к-средних. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: кластеризация пользователя на клиенте упрощенным методом к-средних; динамический сбор данных об игровой статистике; определение количества кластеров методом локтя; кластеризация пользователей компьютерных игр методом К-средних; оценка качества кластеризации; определение уровней вовлеченности пользователей в игру; реализация действий изменению игровых алгоритмов.

Клиентский модуль, реализующий сбор поведенческих метрик игрока, их нормализацию, упрощённую классификацию на основе предобученных центроидов кластеров, а также передачу собранных данных на сервер работает так, что пользователь не видит его работу, но активно с ним взаимодействует. Модуль может отображать итог упрощенной кластеризации в конце игрового раунда, как итог игры. Динамические аспекты поведения клиентского модуля изображены на рисунке 2.

Данные стекаются в центр аналитики Unity Analytics, встроенный инструмент для быстрого анализа показателей игры и поведения игроков. Собранные данные необходимо скачать в формате .csv и импортировать в следующий модуль.

Серверный модуль кластеризации представляет собой основной модуль программы. Он предназначен для кластеризации полученных данных из центра аналитики. Сначала производится нормализация данных, затем расчёт количества кластеров методом локтя, и кластеризация методом К-средних. С этим модулем взаимодействует только разработчик игры. Программный модуль использует следующие библиотеки: numpy, matplotlib, pandas, dataset, scikit-learn, openruhl. Процесс взаимодействия разработчика с модулем кластеризации изображен на рисунке 3.

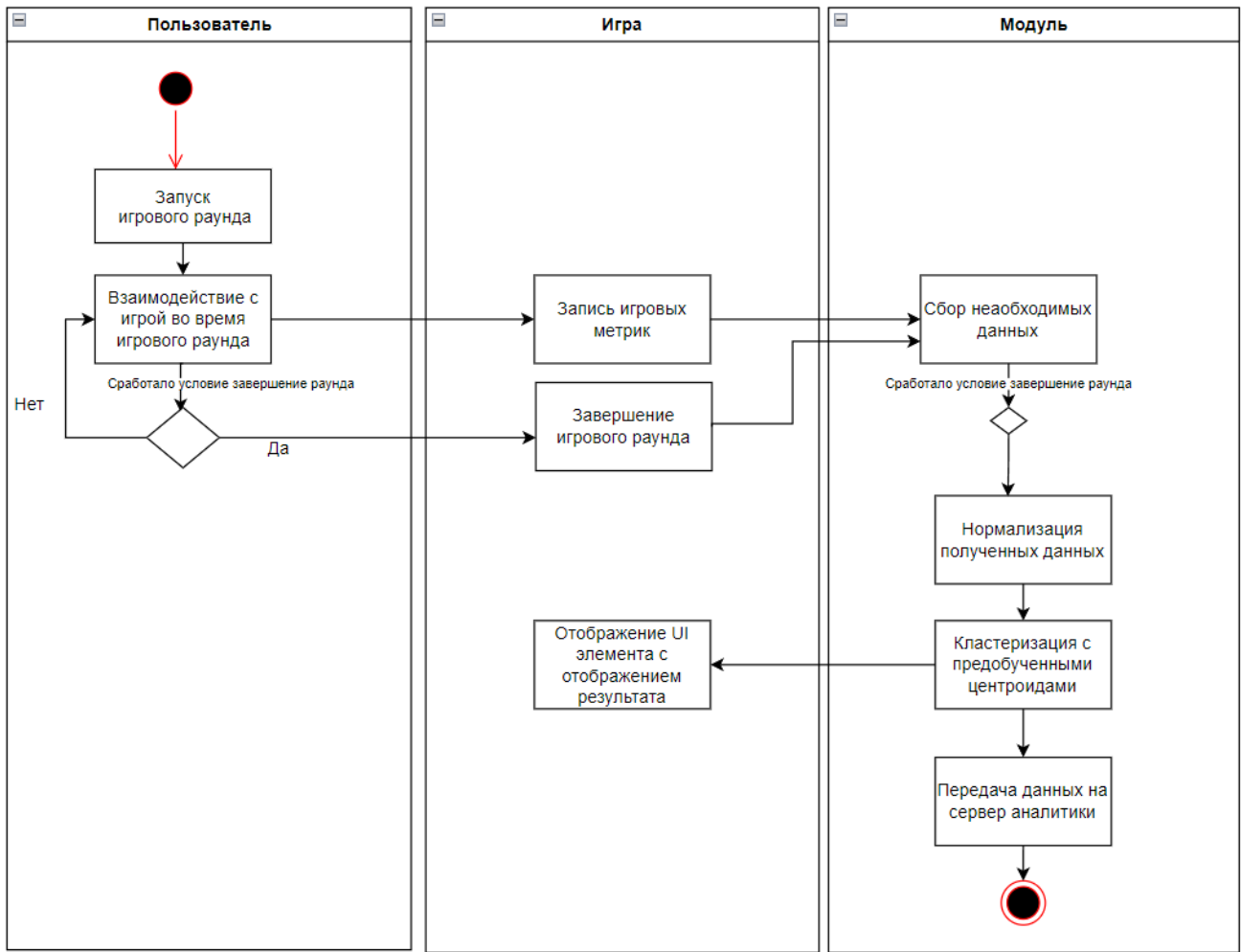


Рисунок 2 – Диаграмма деятельности

После, разработчик может выполнить оценку качества кластеризации по трем показателям: Silhouette Score, Davies-Bouldin Index, Calinski-Harabasz Index, отправить кластерные метки игрокам и сформировать отчет в формате .xlsx. После данной процедуры каждому пользователю, который участвовал в процедуре кластеризации будет присвоена своя кластерная метка и выставлена в игре. Это может быть достигнуто только при наличии уникального идентификатора у пользователя, а точнее, при наличии системы регистрации в игре.

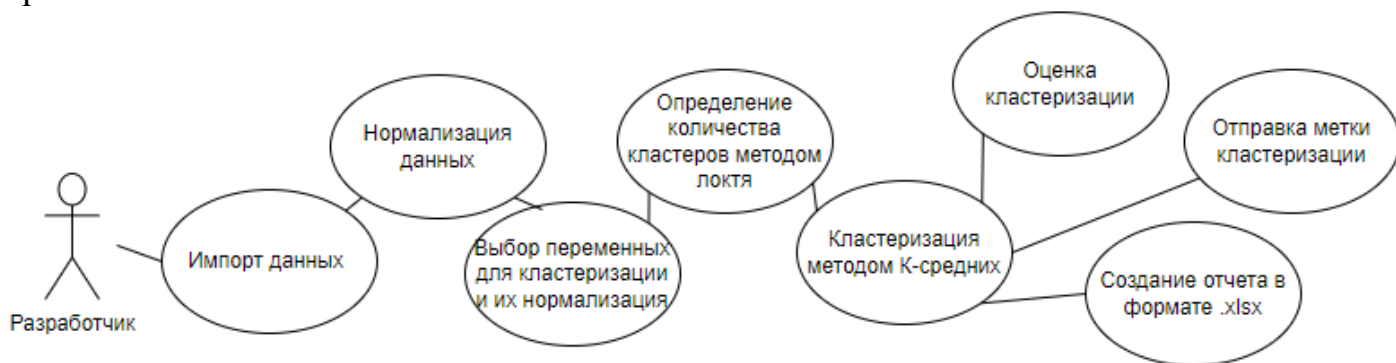


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования серверного модуля кластеризации

Разработанная динамическая модель удержания игроков, основанная на методе кластерного анализа К-средних, доказала свою эффективность в практическом применении. Она позволяет не только сегментировать аудиторию на основе поведения пользователей, но и адаптировать игровые механики и контент в реальном времени, обеспечивая значительное повышение уровня вовлеченности и лояльности игроков. Это делает данный подход перспективным инструментом для использования в современных игровых проектах.

#### Литература

1. ИТМО. Кластеризация. URL: <https://neerc.ifmo.ru/wiki/index.php?title=Кластеризация> (дата обращения: 23.05.2025).
2. FastAPI. URL: <https://fastapi.tiangolo.com> (дата обращения: 25.05.2025).
3. Unity Documentation. UnityWebRequest. URL: <https://docs.unity3d.com/6000.1/Documentation/ScriptReference/Networking.UnityWebRequest.html> (дата обращения: 25.05.2025).

*В.Г. Халин, д.э.н., проф.; Г.В. Чернова, д.э.н., проф.,  
(Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург)*

**РОССИЙСКАЯ ВЫСШАЯ ШКОЛА – КЛЮЧЕВАЯ ПОДСИСТЕМА  
СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ:  
СИСТЕМНЫЕ РИСКИ**

*Статья является пятой в серии публикаций авторов, посвященных системному анализу развития российской высшей школы за последние тридцать пять лет. Доказано, что российская высшая школа является одной из ключевых подсистем системы государственного суверенитета России. Выявлены системные риски управления в условиях действия современных факторов.*

**Ключевые слова:** государственный суверенитет, технологический суверенитет, специальная военная операция, экономические санкции, высшая школа России, системные риски.

**Введение.** Главной целью функционирования и развития российской системы высшего образования является подготовка высококвалифицированных кадров, реализующих эффективное развитие всего российского общества, в том числе требуемых для обеспечения российского национального суверенитета. Актуальность достижения этой цели усиливается в условиях влияния на развитие российского общества и его экономики целого ряда различных факторов – как положительных, так и отрицательных. При этом возможность появления отрицательных последствий, обусловленных влиянием таких негативных факторов, как специальная военная операция (далее, СВО) и экономические санкции, обуславливает необходимость исследования вопросов подготовки кадров на уровне российской высшей школы также и в целях обеспечения российского государственного суверенитета [1, 2, 3].

Под государственным (национальным) суверенитетом России авторы понимают возможность государства полноправно осуществлять свою внешнюю

и внутреннюю политику; обеспечивать свою национальную безопасность и территориальную целостность, не допускать в свою деятельность вмешательства иностранных государств и международных структур; гарантировать экономическую независимость; обеспечивать технологический суверенитет и участие страны в развитии и проведении новых научных исследований и разработок мирового уровня; сохранять здоровье и благополучие российского народа, а также отстаивать самобытность, язык и национальную культуру страны [4, 5].

Подтверждением существенности влияния названных негативных факторов на возможности обеспечения государственного и, в частности технологического суверенитета, является следующая статистика. По данным НИУ ВШЭ в 2023 г. от импортных поставок существенно зависело около 2/3 промышленных предприятий России. При этом в станкостроении 76% потребляемой продукции производилось за рубежом, в производстве строительно-дорожной, коммунальной и наземной аэродромной техники за рубежом производился 71% потребляемой продукции, в медицинской промышленности – 69% [6].

***Роль высшей школы России в обеспечении государственного суверенитета.*** Как показывает анализ развития всего мирового сообщества, отличительной чертой современности является движение общества в сторону создания новейших технологий во всех сферах деятельности. По этой причине фактор обеспечения государственного суверенитета на основе технологического развития становится чрезвычайно актуальным, и поэтому он в обязательном порядке должен учитываться при приоритетной подготовке кадров в российской высшей школе [2].

Для выполнения государством определенных видов деятельности и функций, раскрывающих содержание государственного суверенитета, высшая школа России подготовку высококвалифицированных кадров должна осуществлять, прежде всего, в следующих сферах: национальная безопасность; информационная безопасность, связь, управление, коммуникации, разведка; фундаментальная и отраслевая наука, НИОКР, прорывные направления мировой науки; международные отношения, право, торговля; стратегически важные отрасли экономики (станкостроение, авиастроение, космос, автомобилестроение и т.д.); здравоохранение нации; уровень жизни населения страны; национальные знания; культурное наследие России и т.д.

Помимо традиционных направлений подготовки кадров, реализуемых в российской системе высшего образования для обеспечения национального суверенитета, современными ключевыми системными задачами ее развития дополнительно являются: приведение в соответствие реального состояния рынка труда требованиям по формированию, сохранению и развитию государственного и технологического суверенитета страны; учет в подготовке и переподготовке кадров инновационного развития ключевых отраслей России, а также выполнение задач полноценного социально-экономического развития всей страны в целом, а не только ее новых территорий.

**Риски управления высшей школой России по обеспечению национального и технологического суверенитета.** Решение проблемы подготовки высококвалифицированных кадров на уровне российской высшей школы, обеспечивающей государственный и, в том числе, технологический суверенитет России, предполагает получение положительных результатов по целому комплексу конкретных задач. Так, одной из них является, например, обеспечение возможности государства полноправно осуществлять свою внешнюю и внутреннюю политику. Оно предполагает подготовку высококвалифицированных кадров в области международных отношений, права, торговли и т.д. Однако, в том случае, если по каким-либо причинам такая подготовка, например, в области международных отношений осуществляется плохо или не осуществляется вообще, сложившаяся ситуация может быть описана риском отсутствия национальной подготовки кадров по международным отношениям и/или риском некачественной подготовки кадров по этому направлению [7]. При этом сам риск может быть представлен двумя параметрами – вероятностью его реализации и размером возможного ущерба. В общем случае размер отрицательных последствий реализации таких рисков может быть разным. Если он незначителен, то, в этом случае, хотя качество подготовки кадров в целом по высшей школе не может быть оценено как хорошее, реализация этого риска не разрушает саму систему подготовки кадров на уровне всей высшей школы России. Но если отрицательные последствия реализации отдельных рисков или их совокупности становятся очень существенными, речь может идти о системных рисках. При этом один очень существенный риск (с большими возможными отрицательными последствиями) из не столь существенного обычного риска может превратиться в системный – его реализация может привести к разрушению всей системы высшей школы. К такому же результату, т.е. к появлению системного риска высшей школы, может привести реализация совокупности отдельных несущественных рисков, каждый из которых не является системным. Их совместная реализация может привести к существенным потерям, что, в свою очередь, также может привести к разрушению всей системы высшей школы.

Если в той части деятельности высшей школы, в которой она (высшая школа) обеспечивает российский государственный суверенитет, появляются системные риски, они могут провоцировать появление системных рисков для системы государственного суверенитета. В этом случае реализация системных рисков высшей школы приведет не только к разрушению самой высшей школы России. Она может привести к разрушению системы государственного суверенитета.

**Заключение.** Взаимосвязь высшей школы России с решением проблемы обеспечения ее государственного суверенитета приводит к тому, что риски высшей школы могут стать рисками системы государственного суверенитета страны. Поэтому появление системных рисков высшей школы может привести к появлению системных рисков для системы государственного суверенитета. Последнее означает, что реализация соответствующих системных рисков в

российской высшей школе может привести к разрушению не только самой высшей школы, но и к утрате государственного суверенитета.

Важнейшим фактором обеспечения государственного суверенитета России является формирование, сохранение и развитие ее технологического суверенитета и та роль, которую играет в решении этих задач российская высшая школа. Именно поэтому системный риск высшей школы России неудовлетворительного качества подготовки кадров по обеспечению технологического суверенитета может стать системным риском такой подсистемы обеспечения государственного суверенитета как обеспечение технологического суверенитета и, как следствие, системным риском всей системы государственного суверенитета. Его реализация может привести к нарушению подсистемы обеспечения технологического суверенитета и поэтому – к разрушению самой системы государственного суверенитета.

#### Литература

1. Балацкий Е.В. Переформатирование российского университета в условиях гибридной войны: практико-ориентированная модель. *Journal of Economic Regulation*, 2022, 13(4): 24-38.
2. Садовничий В.А. Университеты – ключевой фактор в системе подготовки кадров для обеспечения технологического суверенитета России. / Заседание Совета РСР 20 февраля 2024. URL: <https://rsr-online.ru/events/2024/v-mgu-sostoyalos-rasshirennoe-zasedanie-soveta-rsr/> (дата обращения 21.05.2025)
3. Халин В.Г. Модернизация национальной системы высшего образования в контексте выбора управленческих решений. Научное издание. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2008.
4. Небренчин С.М. Суверенная безопасность России. Сб. актуальных публикаций. – М.: МСАНОИК, 2018. – 144 с.
5. Шкодинский С.В., Кушнир А.М., Продченко И.А. Влияние санкций на технологический суверенитет России // *Проблемы рыночной экономики*. – 2022. - № 2. – С. 75-96.
6. Импортзамещение в российской экономике: вчера и завтра. Аналитический доклад НИУ ВШЭ / Я.И. Кузьминов и др.; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2023. – 272 с.
7. Халин В.Г., Чернова Г.В. Риски управления российской высшей школой в условиях новых факторов. / *Формирование страховой культуры: финансовое просвещение и ответственный бизнес: Сборник трудов XXV Междунар. науч.- практ. конф. (г. Москва, 4 июня 2024 г.)* – М.: Прометей, 2024. – С. 364-371

*В.Г. Чернов, д. э. н., проф.  
(Владимирский государственный университет  
имени А.Г. и Н.Г. Столетовых)*

## **НЕЧЕТКОСТЬ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

Достаточно большое количество задач, относящихся к исследованию операций, в формализованном виде имеют матричное представление:

- 1- игры, представляющие двухсторонние конфликтные ситуации ( $S_1$ );
- 2- биматричные игры ( $S_2$ );
- 3- так называемые игры с природой ( $S_3$ );
- 4- задачи многокритериального альтернативного выбора ( $S_4$ );
- 5- задачи принятия решений в условиях неопределенности ( $S_5$ ).

Несмотря на различный характер этих задач, они имеют один общий признак, присутствие лица, принимающего решение, которое стремится действовать рационально. Следует отметить, что в игровых моделях ( $S_1$ ,  $S_2$ ), присутствуют, по крайней мере, два рационально действующих участника.

Каждая из указанных задач будет иметь свое формальное представление, в зависимости от исходных положений.

В основе классической теории антагонистических игр лежит положение «об общем знании, который гласит: игра со всеми правилами известна игрокам и каждый из них знает, что все участники осведомлены о том, что известно остальным партнерам по игре и тогда задача ( $S_1$ ) может быть задана тройкой  $\langle X_{S_1} = \{x_{j_1} : j = \overline{1, J_{S_1}}\}, Y_{S_1} = \{y_{k_1} : k = \overline{1, K_{S_1}}\}, R_{S_1}(X, Y) \rangle$ ,

где для  $S_1$   $X_{S_1}, Y_{S_1}$  - множества стратегий игроков,  $R_{S_1}$  - платежная матрица.

В реальных условиях положение об «общем знании» в антагонистических играх нарушается, во-первых, из-за того, что при конфликтном характере ситуации, требующей принятия решений, игрокам целесообразно сохранять в секрете свои возможные решения, т. е. возникает (существует) первая - неопределенность, вторая, которую можно рассматривать как следствие первой, это неопределенность в оценке последствий возможных решений, значений элементов платежной матрицы. В связи с этим каждый игрок будет формировать не только свои представления о возможных стратегиях другого участника, но и свою платежную матрицу. Тогда формальная модель антагонистической игры приобретает

$$\text{вид } \langle X_{S_1} = \{x_{j_1} : j = \overline{1, J_{S_1}}\}, Y_{S_1}^A = \{y_{k_1}^A : k = \overline{1, K_{S_1}^A}\}, R_{S_1}^A(X, Y^A) \rangle,$$

$$\langle X_{S_1}^B = \{x_{j_1}^B : j = \overline{1, J_{S_1}^B}\}, Y_{S_1} = \{y_k : k = \overline{1, K_{S_1}}\}, R_{S_1}^B(X^B, Y) \rangle,$$

где  $Y_{S_1}^A = \{y_{k_1}^A : k = \overline{1, K_{S_1}^A}\}$  - предположения игрока  $A$  о возможных стратегиях

$B$ ;

$R_{S_1}^A(X, Y^A)$  - матрица игры в представлении игрока  $A$ ;

$X_{S_1}^B = \{x_{j_1}^B : j = \overline{1, J_{S_1}^B}\}$  - предположения игрока  $B$  о возможных стратегиях игрока  $A$  ;

$R_{S_1}^B(X^B, Y)$  - матрица игры в представлении игрока  $B$ .

Отметим, что при нарушении положения об общем знании примерно аналогичная ситуация будет и для биматричной игры ( $S_2$ ).

Для ситуации, требующей принятия решений, формализуемой как игра с природой ( $S_3$ )  $X_{S_3}$  - множество стратегий рационально действующего ЛПР (статистика),  $Y_{S_3}$  - множество состояний природы,  $R_{S_3}$  - матрица результатов выбора при конкретном состоянии природы. Здесь необходимо отметить, что аналогичное представление может быть использована для модели антагонистической игры, предложенной Дж. Харшаньи, в которой вероятностный тип участника можно рассматривать как аналог природы.

Для  $S_4, S_5$   $X_{S_4}, X_{S_5}$  - соответствующие множества возможных решений ЛПР,  $Y_{S_4}$  - множество критериев оценки последствий альтернативных решений  $X_{S_4}$ ,  $Y_{S_5}$  - множество условий, в которых необходимо принять решение  $R_{S_4}$  - матрица

оценок критериального соответствия,  $R_{s_s}$  - матрица оценок последствий сделанного выбора.

Процесс построения платежной матрицы является одним из наиболее ответственных и сложных этапов моделирования ситуации принятия решений, который сопровождается рядом проблем [1], в основном состоящие в невозможности объективно доказать статистическую значимость информации, которая будет использоваться при определении значений элементов платежной матрицы, и, соответственно, их достоверность, принципиальной неопределенности экспертных оценок и субъективных предпочтений ЛПР. Кроме того, статистические данные характеризуют прошлое состояние ситуации, требующей принятия решений. Реально возможные ее изменения позволяют сомневаться в корректности переноса прошлого опыта на настоящее время.

Классическая теория антагонистических игр, так называемых игр с природой, задач принятия решений в условиях неопределенности базируется на предположении, что участники процесса выбора решения имеют полную информацию о множестве возможных стратегий и платежной матрице, элементы которой – это точечные числа, что по существу является упрощенной моделью реальной ситуации. Очевидно, что в силу указанных выше затруднений очень трудно рассчитывать на точное знание элементов платежной матрицы, и скорей всего они представляют приблизительные оценки ситуации принятия решений. В распоряжении участников процесса решения имеется лишь ограниченное множество дискретных значений результатов. В тоже время, из-за невозможности доказать полноту множества состояний природы нельзя исключить возникновение состояния, ранее не включенного в это множество, и которое будет сопровождаться совершенно другим результатом, который раньше никак не учитывался.

В большом количестве исследований, список которых можно найти, например, в [2] ставится под сомнение адекватность представления элементов платежной матрицы в виде точечных числовых оценок и предлагается использовать для этого нечеткие числа. Отметим, что количество исследований по этому направлению в настоящее время существенно больше, чем указано в [2].

Введение нечеткости и последующие преобразования в основном развиваются в двух направлениях. Первое – это непосредственное задание значений функций принадлежности для элементов платежных матриц с последующим выбором  $\max\min$ -ого наилучшего. Возникает вполне резонный вопрос, где здесь нечеткость, а сам метод – это известный критерий Вальда. Другим вариантом этого направления является первоначальное введение нечетких чисел, а затем все необходимые преобразования выполняются над их модальными значениями. Видимо авторы этих работ стараются обойти такую непростую задачу, как сравнение нечетких чисел. Заявленная нечеткость в данном случае, по существу, теряется.

Второе направление представлено исследованиями в которых для нахождения наилучшего решения используются весьма сложные математические преобразования, из-за сложности которых их работа иллюстрируется на примерах нечетких чисел с простыми, как правило, треугольными функциями принадлежности, что лишает общности эти результаты. Кроме этого, применительно к нечетким антагонистическим играм в большинстве работ сохраняется классический подход, когда при отсутствии седловой точки определяются смешанные стратегии, игнорируя, что при нечетких элементах платежной матрицы нарушаются условия использования смешанных стратегий [3]. Необходимо также отметить, для моделирования неопределенности в задачах принятия решений не исключается использование для задания ситуаций, требующих принятия решений нечетких лингвистических утверждений, для которых требуется специальный подход.

Переход к нечетким моделям в указанных выше задачах означает, что неопределенности исходных данных будут иметь нестатистический характер и поэтому использование байесовского подхода в так называемых играх с природой будет не корректным.

В связи с этими обстоятельствами становится необходимым разработка такого метода нахождения наилучших решений в перечисленных ранее задачах в условиях нечеткости, который бы не накладывал ограничений на вид функций принадлежности и мог быть использован для исходных данных в виде нечетких чисел или нечетких лингвистических утверждений.

Реализация предлагаемого метода основано на следующих положениях.

1. В процессе решения должно быть исключено или сведено к необходимому минимуму применение математических операций, т.к. именно они накладывают наиболее существенные ограничения на вид функций принадлежности нечетких данных.

2. Предлагаемые преобразования над нечеткими исходными данными должны быть инвариантными и корректными относительно их формы (вида функций принадлежности).

3. Возможные альтернативные решения оцениваются интегральными оценками по всему множеству условий принятия решений, вычисление которых выполняется только в рамках теории нечетких множеств.

4. Выбор наилучшего решения производится не только по уровню возможных последствий, но и с учетом нечеткости соответствующих оценок.

Поиск наилучшего решения осуществляется во всех перечисленных ранее задачах обработкой платежных матриц. Предлагаемый дальше подход основан на предложении рассматривать каждую платежной матрицы как некоторую популяцию с нечеткими элементами числовыми или лингвистическими с соответствующими функциями принадлежности. Для задач, формализуемых как игра с природой, влияние внешних условий предлагается моделировать как процесс мутации аналогичный генетическим алгоритмам. В результате последствия принятия некоторого решения из множества возможных будут представлены нечетким множеством, вообще говоря, с произвольной функцией

принадлежности, что, очевидно, серьезно затрудняет дальнейшие преобразования. Поэтому предлагается преобразовать такое нечеткое множество в эквивалентное, но с треугольной функцией принадлежности. При этом должно быть выполнено условие: оба множества исходное и эквивалентное должны иметь одинаковые носители и координаты центров тяжести. Координата максимума функции принадлежности рассчитывается на основе известной формулы для центра тяжести треугольника, а само максимальное значение определяется либо как максимальный локальный максимум функции принадлежности исходного множества, либо как средневзвешенное локальных максимумов.

Для выбора наилучшего решения необходимо сравнить полученные эквивалентные множества с учетом их положения на области определения и степени размытости, что можно, например, сделать с помощью точечных значений нечетких множеств, предложенных Р. Яггером.

В заключение отметим, что предлагаемый метод позволяет находить наилучшее в задачах исследования операций, имеющих матричное представление, независимо от формы нечетких исходных данных.

#### Литература

1. Сигал А.В. Теория игр для принятия экономических решений/ А.В. Сигал –Симферополь: ДИАЙПИ, 2014.–303 с. ISBN 978-966-491-551-7
2. Черных А.К., Вилков В.Б. Об одном подходе к решению матричных игр на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики./ А.К. Черных А.К., В.Б. Вилков //Журнал исследований по управлению. –2019, – № 3, – С.38-51.
3. Чернов В.Г. Альтернативный метод решения нечетких матричных игр/В.Г. Чернов// Вестник Воронежского государственного университета: Системный анализ и информационные технологии, –№1. –2024. –С.36-48. DOI: <https://doi.org/10.17308/sait/1995-5499/2024/1/36-48>

*М.В. Черновалова, к.т.н., доц.*

*(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФОСФАТНОГО РУДНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИОННО-ПРЕЦЕДЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ И ОНТОЛОГИЙ**

Одним из приоритетных направлений развития отечественной экономики является модернизация химической промышленности с целью повышения конкурентоспособности ее продукции и обеспечения экологической безопасности производства. Основные аспекты решения данной задачи нашли свое отражение в федеральном проекте «Развитие производства химической продукции», направленном на увеличение объемов производимой малотоннажной и среднетоннажной химической продукции за счет запуска новых производств, предполагающих создание соответствующих производственных цепочек, одной из которых является «Фосфор и его переделы» [1].

Особое внимание к добыче и переработке фосфатного сырья обусловлено

постепенным истощением его запасов, а также необходимостью повышения экологической безопасности и энергоэффективности указанных процессов. При этом состояние отрасли показывает, что решение существующих проблем возможно только в случае проведения реинжиниринга основных процессов, среди которых важное место занимает термическая обработка.

Модернизация процессов термической обработки фосфатного рудного сырья заключается в необходимости обеспечения высокой точности контроля температур и времени, снижении объемов потребляемой энергии, повышении эффективности управления многокомпонентным и коррозионно-активным сырьем, а также минимизации количества получаемых отходов. В связи с этим с целью повышения обоснованности и рациональности управления взаимозависимыми теплофизическими и химико-энерготехнологическими процессами, протекающими в сложных энергоёмких системах (СЭС), целесообразным является применение современных информационных технологий на основе интеллектуальных методов и подходов.

С учетом специфики рассматриваемых процессов на практике информация об их состояниях может быть представлена различными модальностями, а их важные характеристики могут быть описаны в лингвистической форме. Кроме этого, иногда сложно получить точные реальные данные о состоянии СЭС и решения по их управлению принимаются на основе неполного объема информации в плохо формализованном и слабо структурированном виде. В связи с этим для обеспечения наиболее полного описания предметной области целесообразным является применение онтологических моделей, которые позволят сформировать формальное представление схемы данных на основе выделения ее объектов, фактов и отношений между ними, и обеспечит более широкие возможности, чем классические базы данных или объектно-ориентированный подход. На рисунке 1 представлен пример онтологии рассматриваемой научной задачи.

С целью обеспечения возможности учета специфики процессов термической обработки фосфатного рудного сырья, протекающих в СЭС, требуется решить следующие задачи, которые позволят повысить обоснованность и эффективность их управления:

- разработать структуру для хранения и обработки сведений в лингвистической форме с помощью нечетких онтологий, а также обеспечить возможность повторного использования имеющегося опыта управления рассматриваемыми процессами и системами посредством базы прецедентов;

- сформировать гибкую структуру в виде нечеткой ситуационно-прецедентной модели, которая позволит в зависимости от наблюдаемой ситуации предлагать рациональные решения по управлению СЭС и протекающими в них процессами.

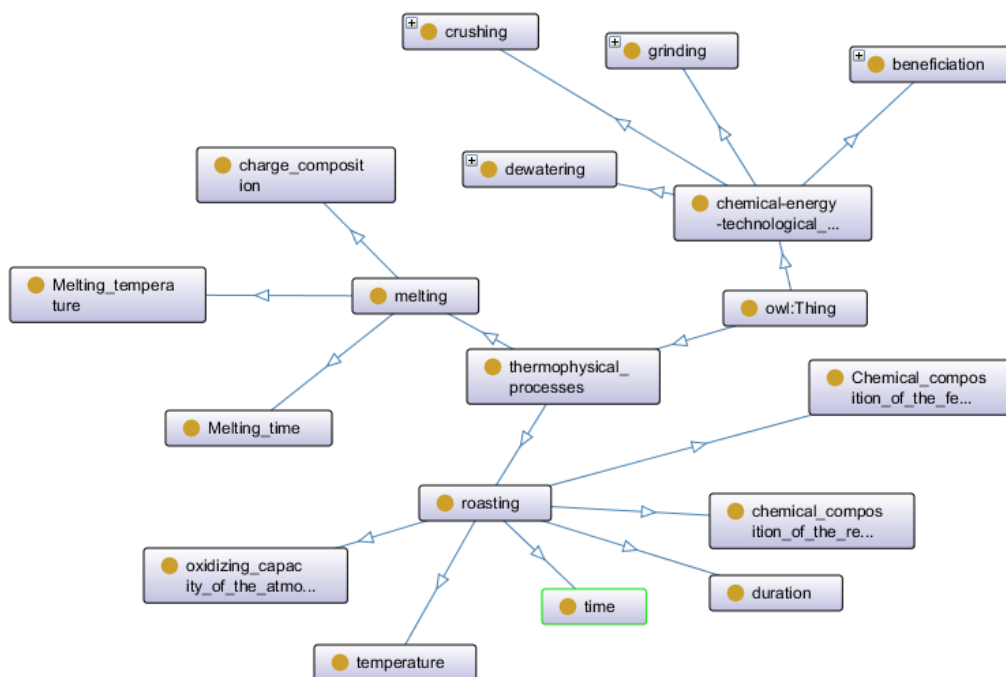


Рисунок 1 – Фрагмент онтологии

Таким образом рассматривается актуальная научная проблема, решение которой предполагает создание нового подхода к управлению процессами термической обработки фосфатного рудного сырья в СЭС с использованием нечетких ситуационно-прецедентных моделей и онтологий.

Как было сказано ранее применение онтологической модели для формирования структуры хранения разнородной информации обусловлено их эффективностью при описании некоторой области знания с помощью совокупности понятий и категорий, а также их свойств и взаимосвязей. В работе [2] приводится формализованное описание онтологий, а также определяется их сущность и назначение. Однако в процессе решения поставленных задач могут возникнуть ситуации, когда связи между фактами невозможно однозначно установить. В таких случаях целесообразно осуществить переход к нечеткости и представить связи между понятиями с помощью нечетких множеств, что позволит повысить описательную способность рассматриваемых моделей.

Для обеспечения возможности управления СЭС и протекающими в них процессами термической обработки фосфатного рудного сырья в условиях влияния различных внутренних и внешних факторов неопределенности, плохо поддающихся оценкам или прогнозу, целесообразно использовать нечеткий ситуационный подход. Он позволяет описывать рассматриваемый процесс в виде отдельных состояний (ситуаций) и управляющих переходов, что дает возможность разрабатывать оптимальные стратегии перевода СЭС из некоторой исходной ситуации в целевую. Для решения же конкретной поставленной научной задачи предлагается применять нечеткие ситуационно-прецедентные модели (НСПМ), которые являются разновидностью классических ситуационных сетей.

Данные модели позволят учитывать имеющийся опыт управления СЭС при определении структуры и параметров модели, что приведет к сокращению используемого объема экспертной информации. Также с их помощью будет учитываться неоднозначность управляющих переходов при схожих исходных условиях.

На рисунке 2 представлена обобщенная схема предлагаемого подхода, ориентированного на повышение эффективности управления СЭС и протекающими в ней процессами термической обработки фосфатного рудного сырья, на основе применения описанных инструментов.

Реализация представленного на рисунке 2 подхода предполагает последовательное выполнение следующих основных этапов.

На первом этапе происходит составление описания текущей ситуации  $C = \{c_1, \dots, c_i, \dots, c_l\}$ , где  $C$  – текущая ситуация,  $c_i$  – словесное описание конкретного атрибута ситуации;  $i$  – номер атрибута ( $i = 1, \dots, l$ ). Источниками атрибутов выступают внешняя среда, внутренние элементы и связи между ними. Атрибут – это конкретное значение показателя, характеризующего указанные источники, которые обычно представлены в лингвистической форме, например «низкая реакционная способность фосфатов», «сильное отклонение температурного режима», «низкая концентрация фосфатов», «высокое содержание угарного газа в рудотермической печи» и т.д.

На втором этапе на основе применения модифицированной процедуры, описанной в работе [3], происходит формирование множества нечетких ситуационных характеристик. С этой целью предварительно создается нечеткая онтологическая модель, которая используется для сопоставления отдельно взятого атрибута  $\{c_m\}$  с понятиями онтологии, в результате чего определяется степень соответствия между ними. В итоге формируется нечеткое множество  $\tilde{P} = \{\tilde{p}_j\}$ .

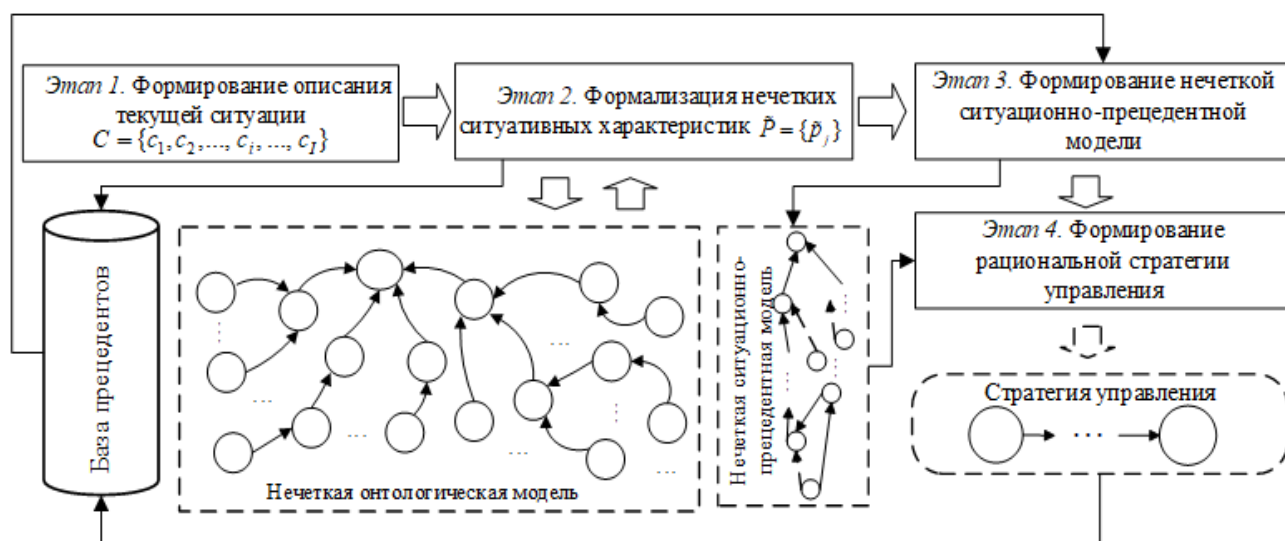


Рисунок 2 - Структура предложенного подхода на основе нечетких ситуационно-прецедентных моделей и онтологий

На третьем этапе создается нечеткая ситуационно-прецедентная модель с использованием интеллектуального метода, описанного в работе [4], согласно которому происходит фазификация ситуационных прецедентов, после чего с помощью алгоритма нечеткой кластеризации осуществляется выявление групп близких нечетких ситуаций, используемых для построения указанной модели.

Четвертый этап непосредственно связан с применением построенной нечеткой ситуационно-прецедентной модели для выработки рациональной стратегии управления сложной энергоемкой системой при термической обработке фосфатного рудного сырья. Для этого вначале определяется степень близости к имеющимся нечетким ситуационным прецедентам, выявляется целевая ситуация, а также формируются совокупности возможных переходов, для каждой из которых рассчитываются суммарные прогнозируемые значения показателя эффективности управления СЭС, а затем по выбранным критериям отбирается рациональная стратегия.

Таким образом, предложенный подход направлен на объединение преимуществ нечетких онтологических и нечетких ситуационно-прецедентных моделей с целью повышения обоснованности и эффективности управления сложными энергоемкими системами и протекающими в них процессами термической обработки фосфатного рудного сырья.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-61-00096, <https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.*

#### Литература

1. Паспорт федерального проекта «Развитие производства химической продукции» // Официальный сайт информационно-правового обеспечения «Гарант» [Электронный ресурс] – Режим Доступа: <https://base.garant.ru/412361320/>.
2. Мисник А.Е. Применение метаграфов для онтологического инжиниринга сложных систем // Прикладная информатика. 2022. Т. 17. № 2 (98). С. 120-132.
3. Авдеенко Т.В., Макарова Е.С. Система поддержки принятия решений в it-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2017. № 3. С. 85-99.
4. Соколов А.М., Черновалова М.В., Прохимнов Н.Н. Сетевые нечеткие ситуационно-прецедентные модели систем управления сложными техническими объектами // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 6 (114). С. 4-17.

*Ю.А. Шило, ст.; рук. рук. И.А. Денисова, к.т.н, доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАЗНОСТИ УГЛА ПРИХОДА (DOA) АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БПЛА**

Стремительное развитие и распространение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) открывает новые возможности в различных сферах, при этом порождает серьезные вызовы в области безопасности и контроля воздушного пространства. Несанкционированное использование БПЛА может представлять угрозу для критически важных объектов, частной жизни и общественной безопасности [1]. В связи с этим, разработка эффективных

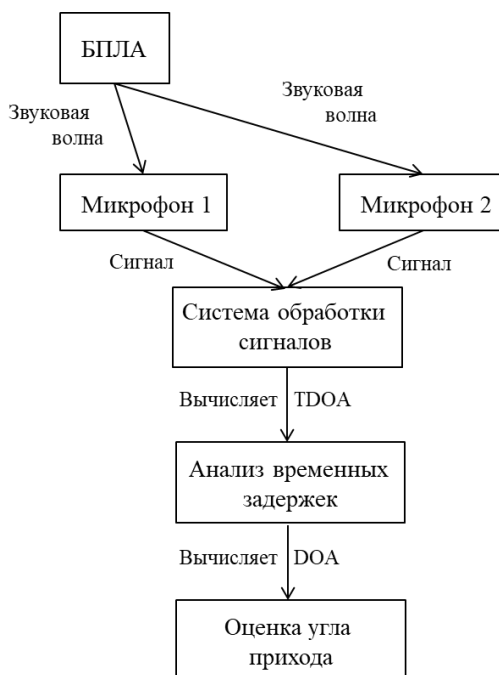
систем обнаружения и определения местоположения БПЛА является актуальной научно-технической задачей.

Среди различных методов обнаружения БПЛА (радиолокационные, оптические, радиочастотные) акустические методы выделяются своей пассивностью, относительно низкой стоимостью и способностью функционировать в различных погодных условиях и в отсутствие прямой видимости. БПЛА, особенно мультироторного типа, генерируют характерный акустический шум, обусловленный работой двигателей и вращением пропеллеров. Анализ этого шума позволяет не только обнаружить БПЛА, но и определить его местонахождение.

Использование метода определения угла прихода (Direction of Arrival, DOA) акустического сигнала открывает возможность определять направление нахождения БПЛА по акустическому шуму, который он издает. Знание DOA от нескольких разнесенных в пространстве сенсоров (микрофонных решеток) позволяет вычислить координаты источника звука (БПЛА) методом триангуляции или другими подобными методами. Точность оценки DOA напрямую влияет на точность определения местоположения БПЛА.

Акустический сигнал, генерируемый БПЛА, представляет собой сложную смесь широкополосного шума и тональных компонент, связанных с частотой вращения пропеллеров и работой двигателей [2]. Интенсивность и спектральный состав этого сигнала зависят от типа БПЛА, его скорости, маневров и расстояния до приемной системы.

Принцип работы основан на измерении и анализе разности времени прихода (Time Difference of Arrival, TDOA) акустического сигнала от БПЛА на различные микрофоны массива [3].



Рисунка 1 – Схема обработки акустического сигнала при использовании метода разности угла прихода

Двигатели и пропеллеры БПЛА создают сложный акустический сигнал. Эти звуковые волны распространяются в среде (воздухе) со скоростью звука (приблизительно 343 м/с при 20°C, но зависит от температуры, влажности и давления).

Когда фронт волны достигает массива, он приходит на разные микрофоны в разное время, если только источник звука не находится на линии, перпендикулярной оси массива и проходящей через его центр. Эта разница во времени и есть TDOA. Например, если БПЛА находится ближе к Микрофону 1, чем к Микрофону 2, сигнал будет зарегистрирован Микрофоном 1 раньше.

Зная геометрию массива (расстояния между микрофонами) и измеренные TDOA, можно с помощью тригонометрических соотношений вычислить угол, под которым пришла волна. Рассмотрим простейший случай двух микрофонов, разнесенных на расстояние  $d$ . Если разность времени прихода сигнала составляет  $\Delta t$ , а скорость звука  $c$ , то разность хода волны будет  $c \cdot \Delta t$ . Угол прихода  $\theta$  относительно нормали к линии, соединяющей микрофоны, можно найти из соотношения:  $c\Delta t = d\sin(\theta)$ . Следовательно,  $\theta = \arcsin(c\Delta t/d)$ . Для более сложных массивов и для определения 3D DOA используются более сложные алгоритмы.

Основные этапы определения DOA:

- Сбор данных: каждый микрофон в массиве преобразует акустические колебания в электрические сигналы. Эти аналоговые сигналы затем оцифровываются (преобразуются в цифровой формат) для дальнейшей обработки.

- Предобработка: может включать фильтрацию для удаления шумов вне интересующего частотного диапазона БПЛА, усиление сигнала и другие методы улучшения соотношения сигнал/шум.

- Анализ Временных Задержек (TDOA Estimation):

Преимущества применения DOA:

1. Высокая точность (при правильной калибровке, использовании качественных компонентов и сложных алгоритмов обработки современные системы DOA могут достигать точности определения направления в несколько градусов или даже доли градуса).

2. Независимость от визуального контакта (акустические волны распространяются независимо от освещенности (день/ночь), тумана, дыма, дождя или снега, что делает метод всепогодным и круглосуточным)

3. Скорость обработки (современные цифровые сигнальные процессоры (DSP), программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС/FPGA) и многоядерные CPU позволяют реализовывать сложные алгоритмы DOA в реальном или близком к реальному времени).

Возможные ограничения:

Несмотря на достоинства, акустические системы DOA сталкиваются с рядом проблем:

1. Акустические помехи (ветер, городская среда усложняют работу метода)
2. Ограниченная дальности действия (для малых БПЛА это может быть от сотен метров до нескольких километров).

Применение DOA в реальных сценариях:

1. Мониторинг воздушного пространства
2. Поиск и спасение
3. Использование в военной сфере:

Таким образом, метод определения угла прихода (DOA) акустического сигнала является мощным инструментом для локализации БПЛА, предлагая уникальные преимущества, особенно в сложных условиях. Несмотря на существующие сложности, такие как фоновый шум, активные исследования и разработки в области микрофонных массивов, алгоритмов обработки сигналов и методов машинного обучения постоянно улучшают возможности этих систем.

Список литературы

1. Кузнецов, А. В., Иванов, В. В. Беспилотные летательные аппараты: теория и практика. Москва: Радио и связь, 2018.
2. Костюк В.И., Черняк Ю.Б., Якимов А.В. Акустический контроль и мониторинг. - М.: Спектр, 2012.
3. Кузнецов, В. В., Смирнов, А. В. Обработка сигналов в радиолокации и радиотехнике. Москва: МГТУ им. Баумана, 2010.

*Ю.А. Шило, ст.; рук. И.А. Денисова, к.т.н, доц.  
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС XILINX ДЛЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

В статье рассматривается применение программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) Xilinx для реализации высокопроизводительной системы обработки акустических сигналов в реальном времени. Представлены результаты разработки аппаратной архитектуры, включающей в себя сбор данных, предварительную обработку, вычисление быстрого преобразования Фурье (БПФ) и анализ признаков. Продемонстрирована эффективность подхода на примере задачи обнаружения и классификации акустических событий. Ключевые слова: ПЛИС, Xilinx, акустические сигналы, БПФ, обработка в реальном времени.

Обработка акустических сигналов в реальном времени является важной задачей во многих приложениях, таких как системы мониторинга состояния оборудования, системы безопасности, устройства слуховой помощи и биоакустические исследования [1, 2]. Требования к производительности и энергоэффективности в таких приложениях часто превышают возможности традиционных программных решений, выполняемых на центральных процессорах (ЦП).

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) предоставляют гибкую и эффективную платформу для аппаратной реализации

алгоритмов обработки сигналов. ПЛИС позволяют создавать специализированные аппаратные архитектуры, оптимизированные для конкретной задачи, обеспечивая высокую степень параллелизма и низкую задержку обработки [3, 4].

Данная статья посвящена исследованию возможностей ПЛИС Xilinx ZYNQ XC7Z010CLG400 (плата EBAZ 4205) для реализации высокопроизводительной системы обработки акустических сигналов в реальном времени. Целью работы является разработка и демонстрация эффективной аппаратной архитектуры для задачи обнаружения и классификации акустических событий.

В настоящее время существует множество подходов к обработке акустических сигналов. Программные решения, выполняемые на ЦП, обладают гибкостью, но часто ограничены в производительности при работе в реальном времени. Специализированные цифровые процессоры сигналов (DSP) предлагают более высокую производительность, но требуют специализированных навыков программирования.

ПЛИС предоставляют компромисс между гибкостью и производительностью, позволяя создавать аппаратные решения, оптимизированные для конкретной задачи [5]. В работе представлен подход к реализации БПФ на ПЛИС для обработки акустических сигналов.

Предлагаемая архитектура системы обработки акустических сигналов на ПЛИС Xilinx состоит из следующих основных блоков (Рисунок 1):

- Интерфейс с АЦП: Прием данных от аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

- БПФ (FFT): Вычисление быстрого преобразования Фурье для каждого канала.

- Анализ признаков: Извлечение признаков из спектра.

- Классификация: Классификация акустических событий.

- Интерфейс с внешним миром: Передача обработанных данных во внешнюю систему.

- Контроллер (процессорные ядра): Управление работой всех блоков системы.

Интерфейс с АЦП:

Для сбора акустических сигналов используется многоканальный АЦП с высокой частотой дискретизации. Интерфейс с АЦП реализован с использованием протокола SPI (Serial Peripheral Interface) или LVDS (Low-Voltage Differential Signaling), в зависимости от требований к скорости передачи данных и количества каналов.

БПФ (FFT):

Вычисление БПФ является ключевым этапом обработки акустических сигналов. Для реализации БПФ на ПЛИС используется IP-ядро БПФ (FFT IP core) от Xilinx, оптимизированное для достижения высокой производительности и минимального использования ресурсов. Размер БПФ выбирается в зависимости от требуемого частотного разрешения.

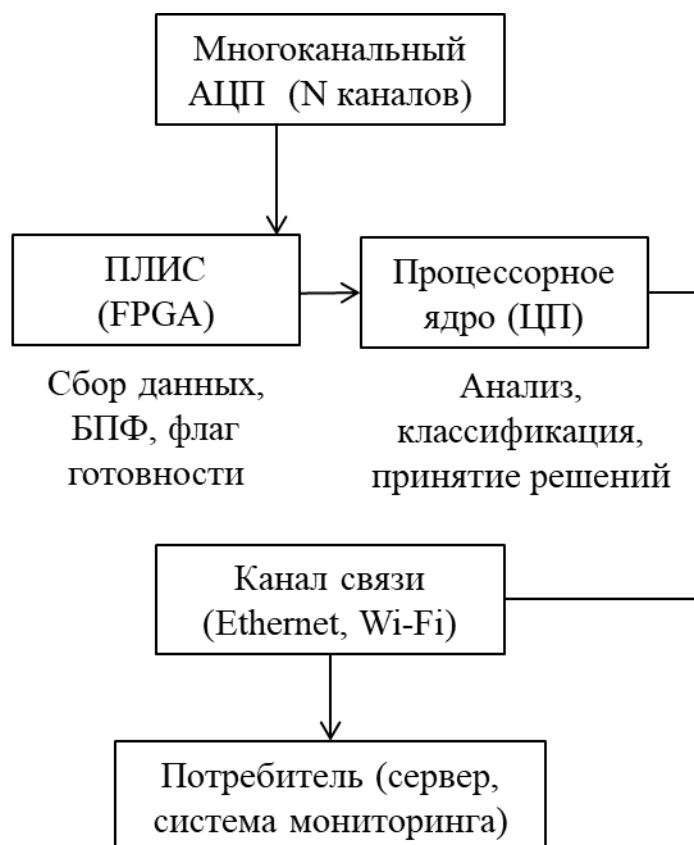


Рисунок 1 – Блок-схема системы обработки акустических сигналов на ПЛИС Xilinx ZYNQ XC7Z010CLG400 (плата EBAZ 4205)

#### Анализ признаков:

На этапе анализа признаков из спектра сигнала извлекаются характеристики, позволяющие идентифицировать и классифицировать акустические события. В качестве признаков используются:

- Спектральный центроид.
- Спектральный спад.
- Спектральная ширина полосы.
- MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients).

#### Классификация:

Для классификации акустических событий используется алгоритм машинного обучения, реализованный на ПЛИС. В данной работе рассматривается использование метода опорных векторов (SVM) и нейронных сетей.

#### Интерфейс с внешним миром:

Интерфейс с внешним миром обеспечивает передачу обработанных данных во внешнюю систему для дальнейшего анализа и визуализации. Используются протоколы UART, Ethernet или PCIe.

Таким образом, анализ основных характеристик ПЛИС Xilinx позволяет предположить высокую эффективность использования данных аппаратно-программных средств для реализации высокопроизводительных систем

обработки акустических сигналов в реальном времени. Предложенная аппаратная архитектура позволяет достичь высокой степени параллелизма и минимальной задержки обработки, что делает ее перспективной для широкого спектра приложений.

#### Список литературы

- 1 Д. Маклеод, “Обработка акустических сигналов”, Springer Science & Business Media, 2008.
- 2 С. В. Васеги, “Усовершенствованная цифровая обработка сигналов и шумоподавление”, John Wiley & Sons, 2008.
- 3 Р. Хартенштейн, “Реконфигурируемые вычисления: архитектуры, инструменты и приложения”, Springer Science & Business Media, 2001.
- 4 У. Вулф, “Современный дизайн СБИС: проектирование систем на кристалле”, Pearson Education, 2009.
- 5 П. Пирш, “Архитектуры для цифровой обработки сигналов”, John Wiley & Sons, 2009.

*Борисов В.В., д.т.н., проф., Соколов А.М., асп.  
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

### **МЕТОД СИТУАЦИОННО-ПРЕЦЕДЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОКОМКОВАННОГО ФОСФАТНОГО РУДНОГО СЫРЬЯ**

Для современных производственных комплексов характерны высокий уровень автоматизации, а также гибкость и модульность, позволяющая быстро адаптировать производственный цикл к выпуску нового продукта. С учетом высокой автономности реализации процессов при организации управления СТО широкое распространение получили интеллектуальные системы поддержки принятия решений, при построении которых применяются различные цифровые модели, в т.ч. с использованием технологии гибридизации, а также осуществляется сбор, накопление и интеллектуального анализа больших объемов эксплуатационных данных с целью выработки оптимальных режимов работы, контроля качества и реинжиниринга [1]. В качестве укрупненных структурных единиц указанных комплексов могут рассматриваться сложные технические объекты (СТО), предназначенные для решения конкретных производственных задач и объединяющих множество отдельных взаимодействующих модулей, параметры и условия функционирования которых могут динамически варьироваться вследствие изменения условий эксплуатации и их собственного старения в течение жизненного цикла.

В особую группу могут быть выделены СТО, реализующие технологические процессы, которые состоят из нескольких выполняемых последовательно стадий и направленные на производство определенного готового продукта. К подобным СТО может быть отнесен широкий класс технологических конвейерных линий, например, обжиговая машина конвейерного типа (ОМКТ) для производства окатышей из отходов добычи апатит-нефелиновых руд. ОМКТ реализует последовательность теплофизических и химико-энерготехнологических процессов, включающих

стадии сушки окомкованного фосфатного рудного сырья, его высокотемпературный обжиг и рекуперацию для достижения наибольшей прочности [2].

При управлении относящимися к выделенной группе СТО необходимо учитывать особенности реализуемого ими многостадийного технологического процесса. Во-первых, эффективность реализации очередной стадии процесса имеет сильную зависимость от результатов реализации предыдущей. Во-вторых, эффективность работы СТО часто может быть оценена только по качеству производимого продукта после реализации всех стадий рассматриваемого технологического процесса.

На практике для управления СТО получили распространение нечеткие ситуационные модели (НСМ), строящиеся на основе экспертных данных и рассматривающие процесс управления в виде отдельный наиболее характерных нечетких ситуаций  $\tilde{S}$ , переход между которыми может быть осуществлен за счет применения заданных управляющих воздействий  $\tilde{R}$ . Каждая нечеткая ситуация является нечетким множеством второго уровня на множестве нечетких ситуационных признаков  $\tilde{P}$ , содержащих информацию о параметрах объекта управления и условиях его эксплуатации:

$$\tilde{S}_i = \{ \{ \mu_h(p_m)/p_m \}, h=1, \dots, H \}, m = 1, \dots, M \}, i = 1, \dots, I.$$

Ранее авторами статьи для управления СТО в условиях неопределенности были предложены нечеткие ситуационно-прецедентные модели (НСПМ) типа «ситуация–действие», которые позволяют формировать управленческие решения на основе прецедентной информации, что значительно снижает затраты и присущую экспертным методам субъективность [3]. НСПМ предполагает формирование базы нечетких ситуационных прецедентов (БНСП) вида:

$$\tilde{c}_n = \langle \tilde{S}_n^h, \tilde{S}_n^k, \tilde{R}_n \rangle,$$

где  $n = 1, \dots, N$  – номер ситуационного прецедента,  $N$  – количество прецедентов в БНСП;  $\tilde{S}_n^h, \tilde{S}_n^k$  – начальная и конечная нечеткие ситуации, в которых находился СТО до и после управления;  $\tilde{R}_n$  – реализованное управляющее воздействие.

Применение модели предполагает определение текущей и задание целевой нечетких ситуаций; выбор ситуационного прецедента, у которого начальная ситуация наиболее близка к текущей, а конечная – к целевой; применение соответствующего управляющего решения.

Близость ситуаций может быть оценена, например, с использованием одного из известных псевдометрических расстояний:

$$d_E(\tilde{S}_i, \tilde{S}_j) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \sqrt{(\mu_i(\tilde{p}_m^i) + \mu_j(\tilde{p}_m^j))^2}.$$

Для учета рассмотренных особенностей реализации многостадийных процессов, в т.ч. термической обработки окомкованного фосфатного рудного сырья, предлагается метод ситуационно-прецедентного управления на основе объединения НСПМ типа «ситуация-действие» и гибридных цифровых моделей.

Метод предполагает формирование для каждой стадии рассматриваемого процесса гибридных цифровых моделей, учитывающих наиболее существенные характеристики и особенности её реализации; БНСП для построения отдельных НСПМ управления процессами; множества эталонных ситуаций  $\tilde{S}^э$ , достижение которых свидетельствует об окончании стадии и возможности перехода к следующей.

На рисунке 1 приведена обобщенная схема взаимодействия элементов при реализации предлагаемого метода.

Обобщенный алгоритм метода нечеткого ситуационно-прецедентного управления многостадийным процессом обработки окомкованного фосфатного рудного сырья включает следующие основные шаги:

1. Определение начальной нечеткой ситуации  $i$ -ой стадии технологического процесса  $\tilde{S}_i^н$ . На первой стадии ( $i = 1$ ) начальная ситуация формируется на основе данных, полученных от гибридной модели.

2. Поиск соответствующего нечеткой начальной ситуации  $\tilde{S}_i^н$  управляющего воздействия  $\tilde{R}_i$  с помощью НСПМ «ситуация–действие» управления  $i$ -ой стадией технологического процесса.

3. Определение с помощью гибридной цифровой модели конечной нечеткой ситуации  $\tilde{S}_i^к$ , в которую переходит ОМКТ в результате применения управляющего воздействия  $\tilde{R}_i$ .

4. Формирование нового ситуационного прецедента и его запись в базу НСПМ управления  $i$ -ой стадией.

5. Проверка условия перехода к следующей стадии на основе определения степени близости конечной нечеткой ситуации к соответствующей заданной эталонной ситуации с использованием нечеткой меры близости:

$$d_E(\tilde{S}_i^к, \tilde{S}_i^э) \leq d_{кр},$$

где  $\tilde{S}_i^э$  – эталонная нечеткая ситуация завершения  $i$ -ой стадии;  $d_{кр}$  – заданное пороговое значения меры близости для определения схожих ситуаций.

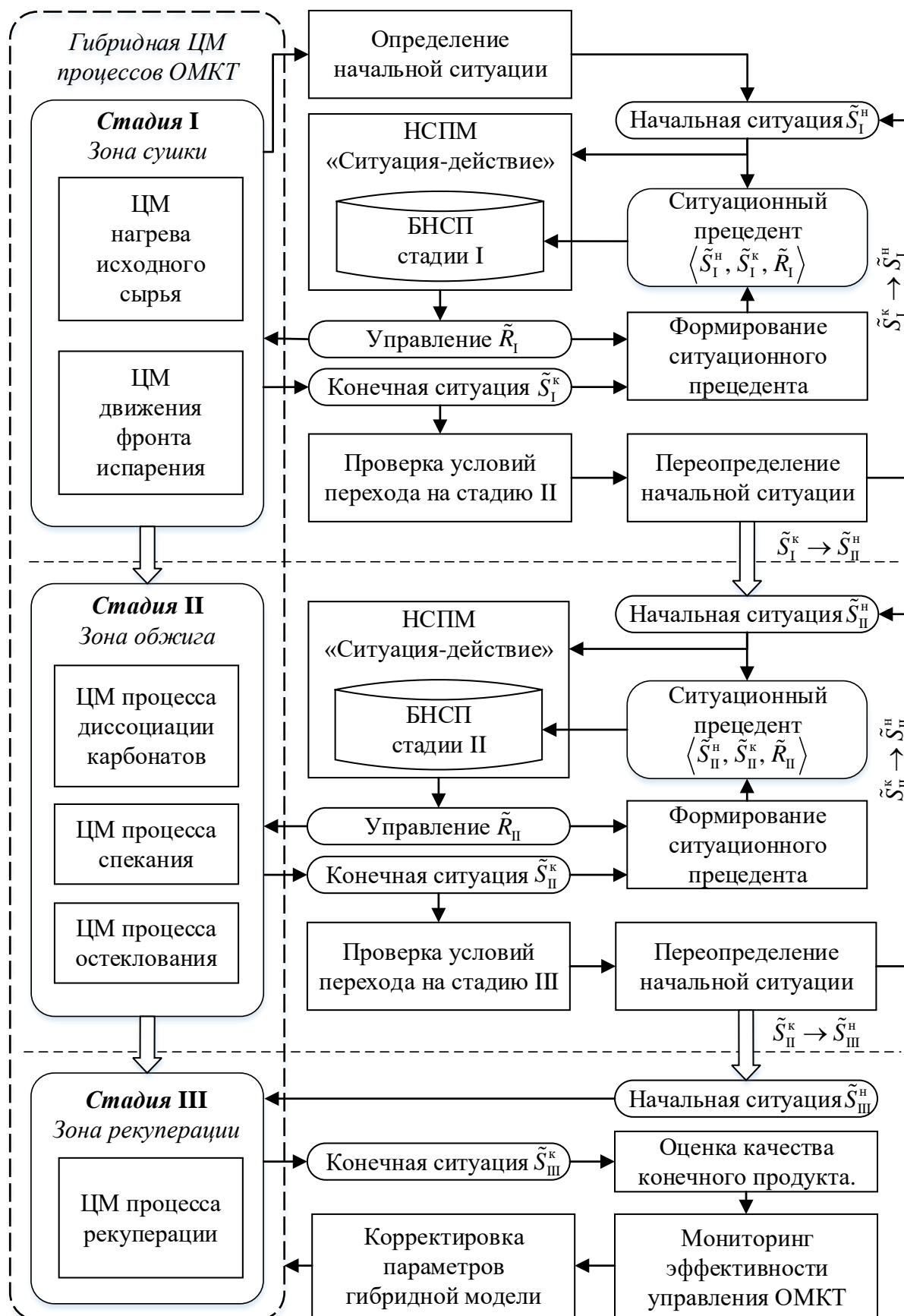


Рисунок 1 – Обобщенная схема применения гибридных цифровых и нечетких ситуационно-прецедентных моделей для управления процессами ОМКТ

Если условие не выполняется, то осуществляется поиск корректирующего управляющего воздействия в соответствии с шагами 2–4, при этом в качестве начальной рассматривается полученная конечная ситуация, которая соответствует текущему состоянию ОМКТ и окружающей среды:

$$\tilde{S}_i^k \rightarrow \tilde{S}_i^h.$$

Если условие выполняется, то осуществляется переход к следующей стадии, при этом в качестве начальной принимается конечная ситуация текущей стадии:

$$\tilde{S}_i^k \rightarrow \tilde{S}_{i+1}^h$$

6. При достижении последней стадии технологического процесса осуществляется оценка качества конечного продукта и при необходимости производится корректировка параметров гибридных цифровых моделей.

Предлагаемый метод позволяет учитывать особенности реализации каждой стадии процессов термической обработки фосфатного рудного сырья, что положительно сказывается на эффективности принимаемых решений.

*Исследование выполнено за счет гранта  
Российского научного фонда №22-61-00096,  
<https://rscf.ru/project/22-61-00096/>.*

Список литературы

1. Пучков А.Ю., Федулов Я.А., Минин В.С., Федулов А.С. Гибридная цифровая модель на основе Neural Ode в задаче повышения экономической эффективности переработки мелкорудного сырья // Прикладная информатика. 2024. Т. 19. № 4 (112). С. 107-125.
2. Дли М.И., Пучков А.Ю., Прокимнов Н.Н., Окунев Б.В. Нечеткологическая модель многостадийной химико-энерготехнологической системы переработки мелкодисперсного рудного сырья // Прикладная информатика. 2023. Т. 18. № 3 (105). С. 92-104.
3. Соколов А.М., Борисов В.В. Рекуррентные нечеткие ситуационно-прецедентные модели для оперативного управления сложными техническими объектами // Программные продукты и системы. 2024. № 4. С. 554-565.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Артюхова П.А., Булыгина О.В. ПОДБОР ДАТЧИКОВ ДЛЯ 3  
МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ IoT С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ОПТИМИЗАЦИОННОГО АЛГОРИТМА ЛЕТУЧИХ МЫШЕЙ
2. Артюхова П.А., Пучков А.Ю. ВЫБОР АЛГОРИТМОВ 7  
ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ
3. Бесков Д.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ 11  
ИМИТАЦИОННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ  
МОДЕЛЕЙ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
4. Будкин С.В., Гетманцев Л.Ю. СПОСОБЫ РАСПОЗНАВАНИЯ 14  
ИСКУССТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТЕКСТОВ
5. Булыгина О.В., Артюхова П.А. ВЫБОР ИНСТРУМЕНТОВ ИТ- 18  
КОНТРОЛЛИНГА ДЛЯ ПРОЦЕССА ПРИВЛЕЧЕНИЯ  
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ КЛИЕНТОВ
6. Булыгина О.В., Артюхова П.А. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА 22  
КОШАЧЬЕЙ СТАИ ДЛЯ ПОДБОРА КАНАЛОВ ЦИФРОВОГО  
МАРКЕТИНГА
7. Булыгина О.В., Зубарева В.Н. БИОИНСПИРИРОВАННЫЙ МЕТОД 26  
СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ СЕНСОРНОЙ СЕТИ ПОТ-  
СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
8. Булыгина О.В., Зубарева В.Н. ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ 30  
ВОЗВРАТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПОТОКОВ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АЛГОРИТМА  
ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ
9. Ветров Д.А., Корнеев И.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ 35  
СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПЛОЙТОВ
10. Ветров Д.А., Матюшенков Е.И. ПЕРСПЕКТИВЫ 38  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СРЕДЫ ВИЗУАЛЬНОГО  
ПРОГРАММИРОВАНИЯ ORANGE ДЛЯ РАБОТЫ С ГЕОДАННЫМИ
11. Волкова В.Н., Максимов М.С., Черный Ю.Ю. О ПРЕОБРАЗОВАНИИ 42  
ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИЮ
12. Воробьев М.С., Бобков В.И., Черновалова М.В. 47  
ЦИФРОВИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАСЧЁТА  
ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНОГО ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ
13. Воротилова М.Ю., Устиненкова А.В. НЕЧЕТКАЯ СИТУАЦИОННО- 52  
ПРЕЦЕДЕНТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ  
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВА  
ОКАТЫШЕЙ
14. Вьюненко Л.Ф. ПОСТРОЕНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ 55  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗРЫВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

## ПОЛИМЕРОВ

15. Гетманцев Л.Ю., Поздняков А.С. АНАЛИЗ РИСКОВ НА ОСНОВЕ VALUE AT RISK (VAR) В БАНКОВСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ ОЦЕНКИ РЫНОЧНЫХ ПОТЕРЬ 59
16. Гетманцев Л.Ю., Поздняков А.С. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА «WHAT-IF» ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ В СЕЙСМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ЗОНАХ 63
17. Дроздецкий С.В., Ахмедов А.А. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КРИЗИСНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 66
18. Зарембо А.В., Малахов А.С., Харламов П.С. НЕЙРОСЕТЕВОЙ ГИБРИДНЫЙ КЛАССИФИКАТОР ОБНАРУЖЕНИЯ И РАСПОЗНАВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ 69
19. Окусков И.С. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ SDLC С ПОМОЩЬЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: ОБЗОР МЕТОДОВ, ИНСТРУМЕНТОВ И ПЕРСПЕКТИВ 73
20. Орел Д.И., Смолин В.А. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ АЛГОРИТМОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ 77
21. Полячков А.В., Иванов С.А. ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЦЕССОРНОЙ АРХИТЕКТУРЫ RISC-V С ВСТРОЕННОЙ АССОЦИАТИВНОЙ ПАМЯТЬЮ ДЛЯ УСКОРЕННОГО ПОИСКА ХЭШ-ЗНАЧЕНИЙ 80
22. Самойленко М.Д. ИНТЕГРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ АССИСТЕНТОВ В РОССИЙСКИЕ КОРПОРАТИВНЫЕ ПЛАТФОРМЫ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ 83
23. Смирнова Е.Е., Тютюнник А.А. ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, МЕТОДОЛОГИЯ, ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ 86
24. Соколов А.В., Синявский Ю.В. АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ВНУТРИОРГАНИЗАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СОТРУДНИКОВ 93
25. Фомченков В.П., Кольши В.В. УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ВОВЛЕЧЕННОСТИ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЕ «HELIVUTION» НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ МЕТОДОМ K-СРЕДНИХ 95
26. Халин В.Г., Чернова Г.В. РОССИЙСКАЯ ВЫСШАЯ ШКОЛА – КЛЮЧЕВАЯ ПОДСИСТЕМА СИСТЕМЫ ГОСУДАРСТВЕННОГО СУВЕРЕНИТЕТА РОССИИ: СИСТЕМНЫЕ РИСКИ 99
27. Чернов В.Г. НЕЧЕТКОСТЬ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ 102
28. Черновалова М.В. ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ПРОЦЕССАМИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФОСФАТНОГО РУДНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СИТУАЦИОННО-ПРЕЦЕДЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ И ОНТОЛОГИЙ 106
29. Шило Ю.А., Денисова И.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАЗНОСТИ УГЛА ПРИХОДА (DOA) АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ БПЛА 110

30. Шило Ю.А., Денисова И.А. ПРИМЕНЕНИЕ ПЛИС XILINX ДЛЯ 113  
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ АКУСТИЧЕСКИХ  
СИГНАЛОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
31. Борисов В.В., Соколов А.М. МЕТОД СИТУАЦИОННО- 120  
ПРЕЦЕДЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ  
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ОКОМКОВАННОГО ФОСФАТНОГО  
РУДНОГО СЫРЬЯ

Научное издание

ЕМЕЛЬЯНОВСКИЕ ЧТЕНИЯ.  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ В УПРАВЛЕНИИ – 2025

Сб. трудов научного семинара

---

Подписано в печать 19.06.2025 г.  
Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Тираж 100 экз. Печ. л. 7,75

Издательство «Универсум»  
Отпечатано в издательском секторе филиала МЭИ в г. Смоленске  
214013 г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

ISBN 978-5-91412-555-1

