

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ НА СКЛАДЕ С БЕСПИЛОТНЫМИ ГРУЗОВИКАМИ С ПОМОЩЬЮ АДАПТИВНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КАРТ КОНТЕКСТА

Аннотация. В статье рассматривается проблема визуализации промышленной информации в условиях увеличивающейся сложности производственных процессов и активного внедрения беспилотного транспорта. Предлагается описание использования нового метода – адаптивных интеллект-карт контекста (АИКК), которые объединяют цифровой двойник, интеллектуальное ядро для детекции аномалий и прогнозирования, адаптивный интерфейс с динамической картой, контекстными виджетами и временной шкалой «было-стало», а также механизм обратной связи для дообучения моделей. Метод ориентирован на оператора, который принимает окончательное решение. Предлагаемый метод рассматривается на примере промышленного склада с собственным автопарком беспилотных грузовиков. Проведена оценка метода по таким показателям, как эффективность, скорость обработки, устойчивость к помехам, стоимость внедрения и масштабируемость.

Ключевые слова: Адаптивная визуализация, интеллект-карты контекста, цифровой двойник, беспилотные грузовики, искусственный интеллект, прогнозирование, дообучение моделей.

1. Введение

Современная промышленность сталкивается с возрастающим объемом данных и необходимостью их оперативной обработки для повышения эффективности производственных процессов. Особое внимание к этой проблеме проявляется в сфере использования беспилотных грузовиков на промышленных складах, где десятки автономных транспортных средств одновременно выполняют задачи, а оператор должен в реальном времени отслеживать их состояние, предотвращать аварии и оптимизировать маршруты. Ключевую роль в этом играет правильная организация визуализации информации, которая позволяет специалистам различного уровня подготовки быстро воспринимать и интерпретировать данные, снижая риск ошибок и ускоряя принятие решений.

Существующие методы визуализации – красные метки, информационные таблички, дорожные знаки, графические инструкции, сравнение «было – стало», а также системы визуализации технологических операций – имеют ограничения: они либо статичны, либо не адаптируются под контекст, либо не используют предиктивную аналитику, либо не поддерживают активное обучение на основе действий оператора.

Современные технологии искусственного интеллекта открывают широкие перспективы для визуализации и анализа данных, позволяя применять продвинутые методы обработки и моделирования. Тем не менее, выбор подходящего метода визуализации остается актуальной проблемой, учитывая разнообразие задач и специфик производств.

Целью исследования, проводившегося в данной статье, является повышение эффективности использования беспилотных аппаратов путем разработки метода визуализации промышленной информации, который может эффективно применяться для управления складом с грузовиками. Предлагаемый метод получил название «Адаптивные интеллект-карты контекста (АИКК)». В статье представлено описание его архитектуры, ключевых компонентов, алгоритма работы, а также приводится пример практической реализации.



2. Роль визуализации в современной промышленности

Визуализация промышленной информации стала неотъемлемой частью современного производства, играя важнейшую роль в понимании сложных процессов, диагностике оборудования и мониторинге показателей эффективности. Современные предприятия сталкиваются с постоянно растущим потоком данных, поступающих от многочисленных датчиков, приборов и систем управления. Правильное представление этих данных позволяет операторам и инженерам быстро выявлять потенциальные проблемы, устранять неисправности и повышать общую эффективность производства.

Развитие технологий искусственного интеллекта открыло новые горизонты для визуализации данных, позволив обрабатывать большие массивы информации и строить прогностические модели. Вместе с тем, выбор правильного метода визуализации остается серьезной проблемой, так как разные отрасли и задачи предъявляют различные требования к доступности, точности и простоте восприятия информации.

3. Анализ существующих методов управления складами

В промышленности и системах ИИ применяется несколько базовых методов визуализации, однако каждый из них имеет серьезные ограничения для управления беспилотными грузовиками на складе. Метод красных меток дешев и заметен, но неинформативен, статичен и вызывает привыкание, поэтому годится только для простейших бинарных сценариев. Информационные таблички содержат инструкции, но они статичны, громоздки и требуют времени на чтение, что неприемлемо в критических ситуациях. Дорожные знаки общеизвестны и недороги, но их набор ограничен, некоторые знаки неинтуитивны, и они рассчитаны на водителей, а не на диспетчеров автопарка. Графические инструкции наглядны для сложных структур, но сложны для мгновенного восприятия, требуют спецоборудования и подготовки персонала. Метод «было – стало» хорош для отчетности, но игнорирует динамику, промежуточные стадии и время перехода. Наконец, система визуализации технологических операций (СВТО) автоматизирована, надежна и масштабируема, однако не обладает прогностикой, не адаптируется под оператора, слабо связана с ИИ и дорога при ограниченной функциональности. Таким образом, ни один из перечисленных методов не подходит для динамического управления беспилотными грузовиками.

4. Отличия метода АИКК от существующих решений

По сравнению с известными методами, АИКК обладает следующими уникальными характеристиками:

- Активная адаптация под оператора. Интерфейс изменяется в зависимости от уровня подготовки, истории действий и когнитивной нагрузки.
- Прогностическая визуализация с доверительными интервалами. оператор видит не точный прогноз, а распределение вероятностей и несколько сценариев.
- Временная шкала «было – стало» с автоматической разметкой событий. Она позволяет анализировать эволюцию ситуации и сравнивать состояния.
- ХАИ-слой. Система объясняет причины своих рекомендаций (например, почему выбрана именно зарядная станция А).
- Многоагентная координация. Карта отображает взаимозависимости между грузовиками и автоматически пересчитывает маршруты при возникновении аномалии.

5. Архитектура метода АИКК

Метод АИКК основывается на четырех основных слоях, которые взаимодействуют в режиме реального времени. Этими слоями являются:

1. Слой сенсоров и цифрового двойника. Данный слой объединяет данные физических датчиков (телеметрия CAN-шины, GPS, видеопотоки) и виртуальных источников



(логи ИИ-моделей управления движением, статусы заданий). На их основе строится цифровой двойник склада – единая виртуальная модель, отражающая текущее состояние всех объектов (грузовиков, зарядных станций, зон риска).

2. **Интеллектуальное ядро.** Состоит из следующих модулей: детекция аномалий, прогнозирование состояний, приоритезация и адаптация интерфейса. Первый модуль отвечает за сравнение текущих показателей с профилями нормы. Прогнозирование занимается оценкой времени до критического события вероятности на основе моделей временных рядов (LSTM). Следующий модуль необходим для присвоения уровня критичности и генерации кратких текстовых аннотаций с рекомендациями для оператора. И модуль адаптации отвечает за персонализацию отображения в зависимости от роли пользователя, истории его действий и текущей когнитивной нагрузки.

3. **Адаптивный интерфейс.** Включает в себя адаптивную карту с автоматическим масштабированием к проблемной зоне, наложением маршрутов и зон риска; контекстные виджеты, представляющие собой всплывающие панели, которые сообщают причину аномалии, прогноз и имеют кнопки действий; динамические метки – цветовые кодировки пульсации, таймеры обратного отсчета; интерактивные графы процессов, которые отвечают за визуализацию потоков данных и маршрутов с подсветкой узких мест; ползунок времени «было-стало» для возможности просмотра эволюции ситуации, автоматической разметки ключевых событий и сравнения состояний.

4. **Слой обратной связи и дообучения.** Система собирает метрики взаимодействия оператора с интерфейсом (время реакции, выбранные действия, использованные подсказки) и периодически дообучает модели интеллектуального ядра, повышая точность прогнозов и адаптируя интерфейс под предпочтения пользователя.

5. Алгоритм работы метода АИКК (на примере склада с беспилотными грузовиками)

Рассматривается сценарий, когда на складе находится 15 рабочих беспилотных грузовиков. У одного из них (№5) начинается перегрузка генератора. Алгоритм АИКК выполняет следующие шаги:

1. **Сбор данных.** С CAN-шины считываются параметры: напряжение 11,8 В (норма 13,5–14,5 В), ток 142 А (повышен), температура 87 °С (на верхней границе). Логи ИИ-модели фиксируют снижение уверенности классификации с 98% до 73%.

2. **Детекция аномалии.** Ядро фиксирует отклонение и классифицирует его как «перегрузка генератора».

3. **Прогнозирование.** Модель временных рядов предсказывает, что через 12 минут напряжение упадёт ниже 10,5 В, вероятность останова в зоне блокировки – 89%.

4. **Приоритизация.** Событию присваивается высокий уровень критичности.

5. **Адаптация интерфейса.** Карта автоматически масштабируется к грузовику №5, вокруг его иконки появляется оранжевое пульсирующее кольцо с таймером «12:34».

6. **Контекстный виджет.** Оператору отображается сообщение: «Аккумулятор разрядится через 12 мин. Причина: перегрузка генератора. Рекомендация: направить на зарядную станцию А (2 мин) или в техпарк (12 мин)». Оператор кликает по рекомендуемому действию.

7. **Выполнение команды.** Система формирует новый маршрут для грузовика №5, корректирует маршруты соседних машин, отправляет уведомление в техслужбу.

8. **Фиксация обратной связи.** Записывается время реакции (3,2 секунды), выбранное действие, использованные элементы интерфейса.

9. **Дообучение.** Накопленные данные используются для уточнения прогнозных моделей и персонализации интерфейса для данного оператора.



6. Оценка метода АИКК по выбранным критериям

Оценка производилась по критериям эффективности, скорости обработки, устойчивости к помехам, стоимости внедрения и масштабируемости. Результаты получены в ходе сравнения метода с шестью существующими методами: методом красных меток, информационных табличек, дорожных знаков, графических инструкций, «Было – стало» и системой визуализации технологических операций. Итог представлен в таблице 1.

Таблица 1

Оценка методов визуализации промышленной информации

Критерий	АИКК	Метод красных меток	Метод информационных табличек	Метод дорожных знаков	Метод графических инструкций	Метод «Было – стало»	Система визуализации технологических операций
Эффективность	5	2	3	3	4	4	4
Скорость обработки	5	4	3	4	3	3	4
Устойчивость к помехам	5	3	5	5	4	3	5
Стоимость внедрения	3	5	4	4	3	5	2
Масштабируемость	5	2	3	2	4	5	4

АИКК демонстрирует максимальные показатели по эффективности, скорости (благодаря автоматической приоритизации), устойчивости (за счёт цифрового двойника и многоуровневой защиты) и масштабируемости. Стоимость внедрения остаётся высокой, но она сопоставима с комплексными системами визуализации технологических операций и компенсируется предотвращением аварий и повышением производительности.

Заключение

Проведенное исследование показало, что правильное применение методов визуализации промышленной информации является необходимым условием для повышения эффективности производственных процессов и снижения рисков в современном бизнесе.

Разработанный метод адаптивных интеллектуальных карт контекста (АИКК) представляет собой комплексное решение для визуализации промышленной информации, особенно актуальное для складов с беспилотными грузовиками. Объединяя цифровой двойник, интеллектуальное ядро, адаптивный интерфейс и механизм обратной связи, АИКК позволяет оператору быстро выявлять аномалии, получать прогнозы и обоснованные рекомендации, а также анализировать историю событий. Несмотря на высокую стоимость внедрения, метод обеспечивает значительное повышение эффективности, масштабируемости и устойчивости к сбоям.

Дальнейшие исследования будут направлены на интеграцию более сложных моделей объяснимого ИИ (ХАИ) и расширение метода для управления роем автономных роботов в промышленности.

Список литературы:

1. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты / Т. Кохонен; пер. с англ. В. Н. Агеев. – 3-е англ. изд. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с. – (Адаптивные и интеллектуальные системы).



2. Toyota Material Handling Europe. Digital twin initiative with NVIDIA and SoftServe [Электронный ресурс] // Официальный сайт Toyota Material Handling Europe. – URL: <https://toyota-forklifts.eu/about-toyota/innovation/digital-twin-initiative-with-nvidia-and-softserve/> Режим доступа: открытый (дата обращения: 07.04.2026).

3. Zheng, J. MAP-ADAPT: Real-Time Quality-Adaptive Semantic 3D Maps / J. Zheng, D. Barath, M. Pollefeys, I. Armeni // Computer Vision – ECCV 2024: 18th European Conference, Milan, Italy, September 29 – October 4, 2024. – Proceedings, Part XXXIX. – Springer, 2025. – P. 220–237. – (Lecture Notes in Computer Science; vol. 15097).

4. Yepmo, V. myCADI: my Contextual Anomaly Detection using Isolation / V. Yepmo, G. Smits // Proceedings of the 33rd ACM International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM '24), October 21–25, 2024, Boise, ID, USA. – New York: ACM, 2024

5. Палюх, Б. В. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению сложными объектами с использованием динамических нечетких когнитивных карт / Б. В. Палюх, М. И. Дли, Т. В. Какатунова, О. В. Багузова // Программные продукты и системы. – 2013. – № 4. – С. 162–167.

6. RGo Robotics. Perception Engine for autonomous mobile robots [Электронный ресурс] // RGo Robotics. – Режим доступа: <https://www.rgorobotics.com> (дата обращения: 14.04.2026).

