

УДК 622.692.4.053

Применение искусственного интеллекта в эксплуатации трубопроводов

Хилецкий Андрей Анатольевич

khiletskiyaa@stg.sibur.ru

Башаров Руслан Айратович^(*)

basharovra@stg.sibur.ru

Солдатенко Сергей Андреевич

soldatenkosa@stg.sibur.ru

ООО «Запсибтрансгаз», Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Нижневартовск, Россия

Аннотация. В современных условиях эксплуатации магистральных трубопроводов особую актуальность приобретает внедрение технологий искусственного интеллекта (ИИ), направленных на повышение эффективности и безопасности производственных процессов. В работе представлена концепция интеграции ИИ-модулей в систему мониторинга параметров трубопроводов, включающая обработку данных внутритрубной диагностики (ВТД) и взаимодействие с существующей системой обнаружения утечек (СОУ/Тори). Описаны ключевые компоненты системы и подходы к улучшению процесса принятия решений на основе анализа больших данных.

Ключевые слова: искусственный интеллект, трубопровод, внутритрубная диагностика, промышленная безопасность, управление рисками

Введение. Эксплуатация трубопроводных систем требует непрерывного мониторинга технического состояния для своевременного выявления и оценки дефектов, способных привести к авариям. Традиционные методы контроля, основанные на ручном анализе данных ВТД, зачастую не обеспечивают необходимую точность и оперативность, особенно при большом объеме информации и сложных условиях эксплуатации, например, в труднодоступных или заболоченных местах [1]. Внедрение технологий искусственного интеллекта позволит автоматизировать и повысить точность анализа данных, выявлять скрытые зависимости, прогнозировать развитие дефектов и улучшить процессы контроля, что существенно снижает риски аварий [2–4]. В данном контексте ИИ становится ключевым инструментом для повышения промышленной безопасности и эффективности управления трубопроводами [5]. Это подтверждается рядом исследований российских специалистов [5, 6].

Цель работы — разработка архитектуры интегрированной ИИ-системы для автоматизированного анализа данных ВТД, получаемых с дефектоскопов.

Ключевые аспекты разработки включают в себя:

- автоматизацию обработки и классификации дефектов по основным признакам (размер, форма, интенсивность и текстурные характеристики);
- интеграцию ИИ-модулей в существующую систему обнаружения утечек (СОУ/Тори) для комплексного мониторинга состояния трубопровода;
- оптимизацию принятия решений по результатам анализа ВТД с целью сокращения необходимости проведения дополнительного дефектоскопиче-

ского контроля (ДДК), который предполагает вскрытие трубопроводов экскаватором для уточнения параметров дефектов.

Архитектура системы. Система состоит из следующих ключевых компонентов:

1. Модуль обработки предварительных данных ВТД предназначен для фильтрации, нормализации и подготовки необработанных данных для дальнейшего анализа [6].

2. ИИ-алгоритмы необходимы для выявления и классификации дефектов по изображениям и 3D-сканам с использованием сверточных нейронных сетей (CNN), учитывая размерные и текстурные особенности [4].

3. Система прогнозирования развития дефектов предназначена для обучения моделей машинного обучения (например, рекуррентных нейронных сетей и моделей градиентного бустинга) с целью оценки вероятности роста и опасности дефектов во времени [2].

4. Модуль оптимизации маршрутов диагностики представляет собой функциональный блок информационной системы, предназначенный для оптимизации графика и маршрутов обследования трубопроводной сети с учетом текущего состояния, типа дефектов, географических и эксплуатационных особенностей [7].

Используемые компоненты выбраны с учетом практик российских исследований в области промышленной автоматизации и диагностики [1, 9, 10].

Внедрение предложенной ИИ-системы позволяет:

- автоматизировать и ускорить обработку данных ВТД [4];
- повысить точность выявления и классификации дефектов по сравнению с традиционными методами [6, 8, 10];
- сократить время на анализ результатов диагностики, что особенно важно при больших объемах данных [3];
- оптимизировать планирование ДДК, направляя ресурсы на участки с высоким риском дефектов, что сокращает количество необоснованных вскрытий трубопроводов, особенно в труднодоступных и заболоченных районах [2].

Влияние на безопасность и эффективность. Применение искусственного интеллекта в эксплуатации трубопроводов положительно влияет на безопасность и эффективность. В области промышленной безопасности раннее выявление потенциально опасных дефектов позволяет заблаговременно принимать меры по их устранению, а прогнозирование аварийных ситуаций дает возможность проводить профилактические мероприятия и минимизировать риски [5]. Кроме того, автоматизация процессов принятия решений снижает влияние субъективных ошибок и человеческого фактора, повышая надежность контроля. В управлении рисками оценка вероятности возникновения опасных дефектов на основе анализа исторических данных ускоряет реагирование на угрозы [3], в то время как совершенствование графика и маршрутов проведения ВТД позволяет рационально распределять ресурсы и избегать излишних затрат [2]. Минимизация человеческого фактора также снижает

вероятность ошибок, связанных с усталостью или субъективной интерпретацией данных. Наконец, в аналитике и моделировании ИИ обеспечивает не только диагностику, но и выявление скрытых закономерностей и паттернов в больших данных, что улучшает точность прогнозов, моделирование различных сценариев развития ситуации на основе текущих данных для предсказания последствий решений, а также совершенствование бизнес-процессов, связанных с эксплуатацией трубопроводов, что ведет к снижению затрат и повышению общей эффективности работы предприятия [4].

Недостатки и ограничения применения искусственного интеллекта в эксплуатации трубопроводов. Несмотря на очевидные преимущества, применение ИИ имеет ряд существенных недостатков, которые необходимо учитывать. Реализация сложных ИИ-систем требует мощного оборудования, специализированного программного обеспечения и квалифицированных специалистов для обслуживания и обновления, что повышает вычислительные и технические требования. Этические и правовые вопросы, такие как соблюдение требований информационной безопасности и защиты персональных данных, требуют дополнительного внимания и регуляторного обеспечения. Наконец, изменения в эксплуатации трубопроводной системы, появление новых типов дефектов или новых технологий требуют регулярного переобучения моделей и доработки алгоритмов, что связано с временными и материальными затратами. Учитывая перечисленные ограничения, эффективное применение ИИ возможно лишь в сочетании с профессиональным опытом инженеров и регулярным контролем качества моделей.

Заключение. Интеграция искусственного интеллекта в систему эксплуатации магистральных трубопроводов значительно повышает эффективность производственных процессов, улучшает показатели промышленной безопасности и снижает операционные затраты [2, 5]. Вместе с тем необходимо учитывать ограничения: необходимость большого объема качественных данных, риски ошибок при недостаточной обученности моделей, а также регулярное обновление программного обеспечения для адекватной адаптации под изменяющиеся условия эксплуатации.

Дальнейшие исследования следует направить на углубленное тестирование, расширение базы данных и внедрение комплексных систем мониторинга [6, 8].

Список источников

- [1] Тыртыкаев А.С., Петряков В.А. Повышение эффективности технологии внутритрубной диагностики магистральных трубопроводов. *Проблемы эксплуатации систем транспорта. Всерос. науч.-практ. конф.: материалы*. Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 2009, с. 291–292.
- [2] Белостоцкий М.А., Куньлин Л., Короленок А.М., Короленок В.А. Формирование интеллектуальной системы управления ремонтом на линейной части магистральных нефтепроводов. *Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов*, 2022, № 4. <https://doi.org/10.28999/2541-9595-2022-12-4-368-375>

- [3] Алекперова С.Т., Ревазов А.М. Практика применения технологий искусственного интеллекта при планировании мероприятий по обеспечению безопасности объектов добычи и транспорта углеводородов. *Территория Нефтегаз*, 2022, № 1–2, с. 40–44.
- [4] Коваленко А.А. Машинное обучение для обслуживания трубопроводов: на примере «Газпром нефти». *Russian Journal of Artificial Intelligence*, 2022, № 6 (2), с. 134–145.
- [5] Литвин А.Э., Старосотник В.В. Применение искусственного интеллекта для защиты магистральных трубопроводов от преднамеренных угроз. *Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета имени Евфросинии Полоцкой*, 2019. URL: https://journals.psu.by/specialists_applied_sciences/article/view/4635 (дата обращения 12.09.2025).
- [6] Маркеленко Д.Е., Огороднова Ю.В. Техническая диагностика магистральных трубопроводов. *Наука сегодня: вызовы и решения. Междунар. науч.-практ. конф.: материалы. Научный центр «Диспут»*. Москва, ООО «Маркер», 2017, с. 28–30.
- [7] Копичева А.А. *Алгоритмы и способы повышения точности работы системы ориентации и навигации внутритрубных средств дефектоскопии*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2013.
- [8] Супрунчик К.В. Инфразвуковая дефектоскопия трубопроводов. *Наука и мир*, 2025, т. 1, № 5, с. 97–101.
- [9] Петин С.В., Сидоренко В.Г. Обзор методов дефектоскопии при обследовании трубопроводов. *Молодой ученый*, 2016, № 2 (106), с. 194–199. URL: <https://moluch.ru/archive/106/25262/> (дата обращения 12.09.2025).
- [10] Беликов А.В. Преимущество использования акустических датчиков прохождения внутритрубных устройств при проведении дефектоскопии. *Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета*, 2011, № 3, с. 58–61.