

**РАЗРАБОТКА РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА
К ОЦЕНКЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ
С ИНТЕГРАЦИЕЙ ИИ-МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ГРУНТОВ**

В. В. БЕРДАШКЕВИЧ¹, И. А. ЛЕОНОВИЧ²

¹ Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь

² РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
Москва, Россия

Аннотация. В статье предложена интегрированная методология анализа технического состояния распределительных газопроводов, основанная на сочетании риск-ориентированной модели оценки состояния трубопроводов и применения технологий искусственного интеллекта для определения типов грунтов и их коррозионной активности. Представлен подход, позволяющий учитывать вероятность отказа и тяжесть его последствий, а также влияние характеристик грунтовой среды на долговечность трубопроводов. Особое внимание уделено применению машинного обучения для автоматической классификации грунтов и прогнозирования агрессивности среды. Полученные результаты формируют основу для цифровизации эксплуатационного анализа, ранжирования участков распределительных сетей по степени риска и оптимизации программ ремонта и диагностики.

Ключевые слова: распределительные газопроводы, коррозионная активность, машинное обучение, искусственный интеллект, риск-ориентированная модель, диагностика газопроводов, грунты, цифровой мониторинг.

Введение. Надежность распределительных газопроводов напрямую связана с эффективностью мероприятий по техническому обслуживанию и диагностике элементов системы газоснабжения. Традиционные методы оценки технического состояния опираются на визуально-инструментальный контроль, что ограничивает уровень объективности данных [1]. Современные стандарты управления целостностью трубопроводных систем требуют учета вероятности отказа и тяжести последствий [1].

Важным фактором разрушения подземных газопроводов является коррозионное воздействие грунта, определяемое его структурой, влажностью, минерализацией и химическим составом. Однако лабораторное изучение грунтовых характеристик требует значительных временных и экономических затрат, что ограничивает оперативность анализа.

В связи с этим в статье рассматривается возможность объединения двух направлений:

- 1) риск-ориентированной оценки технического состояния распределительных газопроводов;
- 2) искусственного интеллекта для автоматического определения типа грунта и оценки его коррозионной активности.

Представленное исследование направлено на повышение достоверности анализа эксплуатационных условий и оптимизацию решений по ремонту и диагностике распределительных сетей.

1. Риск-ориентированный подход к оценке технического состояния газопроводов. Разрабатываемая риск-ориентированная методика оценки технического состояния распределительных газопроводов основана на многофакторной математической модели, включающей конструктивные, эксплуатационные и внешние факторы [1]. Ключевым элементом модели

является интегральный показатель риска, формируемый по величине произведения балльной оценки параметров на весовые коэффициенты. Такой подход позволяет формировать приоритетность ремонтов и диагностики трубопроводов [2].

Интегральный показатель риска рассчитывается как произведение балльной оценки и весовых коэффициентов, что позволяет ранжировать участки распределительных сетей по степени риска и принимать обоснованные решения о ремонте и диагностике. Такой подход обеспечивает повышение уровня безопасности газоснабжения и позволяет оптимизировать финансовые ресурсы при распределении бюджета на профилактические мероприятия.

Особое внимание уделяется влиянию внешних факторов эксплуатации: плотности городской застройки, нахождению трубопровода вблизи социальных объектов, параметрам рельефа и характеристикам грунтов. Учет этих параметров позволяет оценивать не только вероятность отказа, но и потенциальную тяжесть его последствий, формируя комплексную оценку риска [3].

Перспективным направлением является формирование цифровых двойников распределительных газовых сетей, интеграция автоматизированного анализа электрохимической защиты, а также обработка геоинформационных данных для динамического обновления факторов риска.

Условия внешней среды – один из наиболее значимых факторов, влияющих на долговечность подземных трубопроводов. По оценкам специалистов, около половины повреждений распределительных сетей связано с коррозионным разрушением металла под воздействием агрессивных грунтовых сред.

Традиционные методы определения свойств грунта требуют отбора проб и лабораторного анализа, что затрудняет широкое применение мониторинга. Получение данных занимает длительное время, а измерения часто не отражают реальной неоднородности грунтовой среды по протяженности трассы.

Интеграция оперативных методов анализа, базирующихся на искусственном интеллекте, позволяет существенно повысить скорость получения данных и снизить их неопределенность.

2. Применение искусственного интеллекта для классификации грунтов и оценки их коррозионной активности. Современные методы машинного обучения и компьютерного зрения позволяют автоматически классифицировать тип грунта по изображению, используя математические алгоритмы поиска признаков и сравнения характеристик поверхности.

Алгоритм проходит обучение на базе фотоматериалов, размеченных специалистами-геологами. В результате формируется математическая модель, способная автоматически различать типы грунта (песок, супесь, суглинок) и выявлять признаки коррозионной агрессивности среды.

Данные, полученные таким образом, формируют основу для создания базы вероятностной оценки коррозионной активности, которая может быть интегрирована в риск-ориентированную модель оценки состояния газопроводов.

В дальнейшем планируется расширить набор данных за счет включения характеристик физико-химических параметров: pH, влажности, удельного сопротивления. Это позволит прогнозировать не только тип грунта, но и скорость коррозии металла трубопровода [3, 4].

Таким образом, искусственный интеллект способен заменить трудоемкие способы грунтовых исследований при инженерных обследованиях, существенно ускорив выполнение экспертизы участков газопроводов.

3. Интеграция ИИ-системы в риск-ориентированную модель газораспределительных сетей. Объединение двух направлений создает принципиально новую структуру анализа:

- ИИ-модуль определяет тип грунта и его агрессивность;
- риск-ориентированная методика использует эти данные в качестве входных факторов;
- формируется уточненная оценка риска отказов.

Такая интеграция позволяет повысить точность оценки опасных участков, оперативно обновлять показатели риска и учитывать скорость коррозионного разрушения металла в реальных условиях эксплуатации.

Предложенная концепция повышает достоверность мониторинга и открывает возможности для автоматизированного ранжирования участков газопроводов по степени опасности.

Заключение. Представленная работа подтверждает перспективность объединения риск-ориентированных методов оценки технического состояния распределительных газопроводов и технологий искусственного интеллекта для анализа грунтов.

Использование методов машинного обучения позволяет оперативно определять тип грунта и прогнозировать его коррозионную активность, что повышает точность оценки внешних условий эксплуатации [1–4].

Будущие этапы исследований предусматривают расширение математической модели риска, включение дополнительного массива данных эксплуатации, и внедрение цифровейших решений для автоматического обновления информации.

Разработка единой цифровой экосистемы анализа позволит повысить уровень безопасности распределительных газопроводов и оптимизировать систему технического обслуживания.

ЛИТЕРАТУРА

1. ASME B31.8S–2018. Managing System Integrity of Gas Pipelines. – New York: ASME, 2018. – 178 p.
2. Бердашкевич В.В., Леонович И.А. Мониторинг технического состояния системы распределительных газопроводов Республики Беларусь // Научный журнал РГО. – 2024. – № 4(46). – С. 84–95.
3. Kuriyanova T.V., Kislitsyn D.I. Применение методов машинного обучения в строительстве // Проблемы информатики. – 2021. – № 1(50). – С. 25–35.
4. Zhang Y., Li H., Wang K. Machine learning applications in civil engineering // Automation in Construction. – 2021. – Vol. 122. – P. 103490.
5. Wu D., Fang S., Zhang Y. Digital twins and machine learning for intelligent infrastructure monitoring // Engineering Structures. – 2023. – Vol. 287. – P. 115184.