

УДК 004.896

Тимиргалин Максим Русланович, студент, Уфимский государственный
нефтяной технический университет, г. Уфа

Фатихов Динар Ильнурович, студент, Уфимский государственный
нефтяной технический университет, г. Уфа

**ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В
СИСТЕМУ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ГАЗА В
ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РОССИИ.**

Аннотация

В исследовании выполнен всесторонний обзор актуальных возможностей обновления систем мониторинга качества природного газа, транспортируемого по магистральным трубопроводам Единой системы газоснабжения (ЕСГ) России. Анализируется переход от классических подходов, зависящих от разовых лабораторных проверок, к модели постоянного умного наблюдения с применением искусственного интеллекта (ИИ) и методов машинного обучения (МО). Подробно рассмотрены технические нюансы разработки и интеграции прогностических моделей анализа, цифровых копий газотранспортных комплексов, а также алгоритмов обработки информации от сетей датчиков. В итоге подчеркивается, что внедрение цифровизации контроля качества через ИИ выступает критически важным фактором для роста эксплуатационной надежности, точности учета и международной конкурентоспособности отечественной инфраструктуры газотранспорта.

Annotation

This paper provides a comprehensive analysis of current challenges and prospects for modernizing natural gas quality control systems in the main gas pipelines of the Unified Gas Supply System (UGSS) of Russia. It examines the evolution from traditional methods based on periodic laboratory analysis to the concept of

continuous intelligent monitoring using artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) technologies. It examines in detail the technological aspects of the creation and implementation of predictive analytical models, digital twins of gas transmission systems, and algorithms for intelligent processing of sensor network data. It is concluded that digitalization of quality control based on AI is a strategically necessary condition for improving the operational efficiency, commercial accuracy, and global competitiveness of the Russian gas transmission infrastructure.

Ключевые слова: искусственный интеллект, машинное обучение, качество природного газа, мониторинг, Единая система газоснабжения (ЕСГ), предиктивная аналитика, цифровой двойник, большие данные, газотранспортная система.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, natural gas quality, monitoring, Unified Gas Supply System (UGS), predictive analytics, digital twin, big data, gas transportation system.

Введение. Единая система газоснабжения (ЕСГ) России, выступая в роли технологической основы национальной энергетики, является объектом огромной сложности, размеров и значимости [1]. Надежное функционирование этой системы гарантирует энергетическую безопасность государства и соблюдение ключевых международных обязательств на долгосрочной основе. В процессе создания стоимости при транспортировке газа одной из ключевых задач становится обеспечение качества топлива в соответствии с установленными стандартами (ГОСТ 5542-2014) [1] и особыми коммерческими условиями. Традиционная российская система контроля качества опирается на подход дискретного наблюдения. Она включает периодический, но не постоянный, забор проб в критических узлах сети – на выходах компрессорных станций, в точках передачи прав собственности или поставки клиентам. Дальнейший анализ в лаборатории с использованием газовой хроматографии дает высокую точность, но неизбежно создает временную задержку в несколько часов. Для быстрых расчетов задействуются

модели, которые усредняют характеристики между пробоотборными точками, опираясь на данные об объемах и прошлых составах смешиваемых потоков.

Этот метод, ранее подтвердивший свою эффективность, ныне испытывает нарастающие системные барьеры в условиях усложнения газоснабжения [4]. Внедрение свежих, зачастую более неоднородных источников газа (арктические залежи, шельфовые разработки, СПГ, попутный газ нефтедобычи), ужесточение стандартов потребителей по точности измерения энергетических характеристик и рыночные угрозы, вынуждают перейти к продвинутым технологиям регулирования [6]. Разрыв во времени сбора данных мешает оперативно мониторить перемещение границы смешения разнородных газовых потоков, порождая неопределенность информации между узлами учета. Традиционные расчеты, слабо подстраивающиеся под переходные режимы газотранспортной системы, создают ошибки, ущерб от которых достигает миллиардов рублей. В итоге возникла острая необходимость усовершенствования от традиционных методов к современным. Достичь этого можно лишь через широкую цифровизацию и интеграцию ИИ-технологий, умеющих распознавать скрытые закономерности в больших объемах данных и создавать точные адаптивные модели сложных физико-химических процессов [10], [7].

Основные направления интеграции искусственного интеллекта в контур управления качеством газа.

Центральным элементом трансформации становится создание интегрированной цифровой платформы, агрегирующей большие данные (Big Data) со всей технологической цепочки. Эта платформа интегрирует различные потоки информации: данные хроматографического анализа, результаты лабораторных анализов, показания многочисленных датчиков (давления, температуры, расхода), сведения о функционировании газоперекачивающего оборудования, информацию о планируемых объемах и источниках поступления газа, а также метеорологические данные. На основе

этих исторических и оперативных сведений осуществляется обучение и работа алгоритмов машинного обучения.

Ключевым направлением использования ИИ является создание прогностических моделей, предсказывающих состав и энергетические характеристики газа. Методы, такие как градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM) или рекуррентные нейронные сети (RNN, LSTM), позволяют обнаруживать скрытые взаимосвязи между параметрами работы в узловых точках сети и конечными свойствами газа [3], [8]. Модель, обученная на данных за длительный период, не только отражает текущее состояние, но и прогнозирует изменения основных показателей (например, концентрации азота, доли тяжелых углеводородов, теплоты сгорания) на несколько шагов вперед, принимая во внимание запланированные операционные изменения. Это позволяет диспетчерским службам заблаговременно получать уведомления о потенциальных отклонениях, а не просто фиксировать факты, и эффективно управлять смешиванием потоков для их предотвращения, что снижает расходы на компримирование и использование резервных мощностей.

Далее целесообразно заняться разработкой и внедрением концепции цифрового двойника Единой системы газоснабжения (ЕСГ) [2]. В отличие от классических гидродинамических моделей трубопроводов, предназначенных для расчета динамики волн давления и потока, интеллектуальный двойник ориентирован на моделирование поведения многокомпонентных смесей. Нейросетевая модель, прошедшая обучение на данных физического моделирования и реальных замеров, получает возможность симулировать в реальном времени процесс смешивания и транспортировки газового потока с измененными параметрами по комплексной разветвленной сети. Это обеспечивает высокую точность прогнозирования не только факта изменения качества поступающего газа, но и времени наступления этого изменения, его продолжительность и амплитуду. Такой инструмент становится важным для

оперативного планирования и предотвращения коммерческих споров, возникающих в переходных процессах.

Одновременно происходит активное развитие в области первичных измерительных устройств. Технологии компьютерного зрения применяются для автоматической расшифровки данных газовых хроматограмм. Разрабатываемые алгоритмы способны распознавать пики компонентов, отделять наложенные пики, рассчитывать их объемы и выявлять технические сбои самого хроматографа, такие как смещение базовой линии, износ колонки или сдвиг времен удерживания. Это не только снижает нагрузку на специалистов-химиков, но и значительно повышает точность первичных данных, исключая человеческий фактор.

Более того, искусственный интеллект становится основой для построения систем виртуального мониторинга. Информация, полученная с небольшого количества эталонных хроматографов, служит для настройки и обучения моделей. Эти модели затем в режиме реального времени корректируют показания более простых, быстрых и доступных датчиков (например, оптических или акустических), которые установлены по всей сети. В результате создается подробная, практически непрерывная карта качества транспортируемого газа. Специализированные алгоритмы выявления аномалий, такие как автоэнкодеры, анализируют этот унифицированный поток данных с сенсоров, оперативно обнаруживая едва заметные статистические отклонения. Они могут сигнализировать о начальных стадиях технологических нарушений, несанкционированных действиях в системе или расхождении фактических параметров подаваемого газа.

Ожидаемый экономический и операционный эффект.

Внедрение упомянутых технологий демонстрирует комплексное воздействие, превосходящее простую автоматизацию. Во-первых, достигается новый уровень надежности и непрерывности поставок благодаря снижению вероятности несоответствия качества газа. Во-вторых, в разы улучшается точность расчетов при коммерческих операциях [5]. Использование

прогнозирующих моделей обеспечивает точное планирование и учет энергетической ценности поставляемого продукта, минимизируя потери и исключая возможные претензии со стороны потребителей. В-третьих, достигается значительное сокращение эксплуатационных расходов за счет прогнозирования потребностей в техническом обслуживании хроматографов, уменьшения затрат на лабораторные исследования и оптимизации энергопотребления при транспортировке [9], [11].

Выводы. Внедрение технологий искусственного интеллекта в систему мониторинга и управления качеством газа в Единой системе газоснабжения России представляет собой стратегически необходимый этап цифровой трансформации отрасли. Оно позволяет преодолеть принципиальные ограничения традиционных методов дискретного контроля, обеспечивая переход к прогнозной модели управления.

Список литературы

1. ГОСТ 5542-2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2015. – 15 с.
2. Журавлев А.А., Петров А.И., Семенов К.В. Цифровые двойники в трубопроводном транспорте углеводородов: от концепции к внедрению // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2021. – Т. 11, № 4(78). – С. 34–45.
3. Иванов С.П., Сидоров К.В., Козлов Д.А. Применение нейросетевых моделей для прогнозирования показателей качества товарного газа в магистральных газопроводах // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2022. – № 3. – С. 15–24.
4. Калашников В.Ю., Морозов А.С. Проблемы и перспективы создания интеллектуальной системы газоснабжения в РФ: киберфизический подход // Энергетическая политика. – 2020. – № 5. – С. 88–99.
5. Отчет о научно-исследовательской работе «Анализ применения технологий искусственного интеллекта в ПАО «Газпром» / ВНИИГАЗ. – Москва, 2022. – 145 с. – № госрегистрации 0122-0-3456-НИР.
6. Руководство по обеспечению качества при транспортировке газа / под ред. С. А. Николаева. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – 244 с.
7. Смирнов Г.И., Федоров Р.А. Большие данные и машинное обучение для задач управления Единой системы газоснабжения // Газовая промышленность. – 2023. – № 3(S). – С. 56–65.
8. Стратегия развития газовой отрасли Российской Федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс]: утверждена распоряжением Правительства РФ от 13 февраля 2024 г. № 300-р.
9. Тарасов В.Л., Белов П.Н. Методы предиктивной аналитики для предотвращения коммерческих потерь при транспортировке газа // Нефтегазовое дело. – 2022. – Т. 20, № 1. – С. 112–125.

10. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления» (утв. приказом Ростехнадзора от 15 декабря 2020 г. № 536). – М.: Ростехнадзор, 2020.
11. Цифровая трансформация ТЭК: технологии, стандарты, безопасность / А.В. Кузовкин, О.М. Бартенева, Е.С. Гаврилова и др.; Ин-т энергетических исследований РАН. – М.: Энергия, 2021. – 188 с.

References

1. GOST 5542-2014. Natural combustible gases for industrial and municipal purposes. Technical specifications. – М.: Standartinform, 2015. – 15 p.
2. Zhuravlev A.A., Petrov A.I., Semenov K.V. Digital twins in pipeline transportation of hydrocarbons: from concept to implementation // Pipeline transport: theory and practice. 2021. Vol. 11, No. 4(78). pp. 34-45.
3. Ivanov S.P., Sidorov K.V., Kozlov D.A. Application of neural network models for predicting the quality of commercial gas in main gas pipelines // Automation, telemechanization and communication in the oil industry. - 2022. – No. 3. – pp. 15-24.
4. Kalashnikov V.Yu., Morozov A.S. Problems and prospects of creating an intelligent gas supply system in the Russian Federation: a cyberphysical approach // Energy Policy. 2020. No. 5. pp. 88-99.
5. Research report "Analysis of the use of artificial intelligence technologies in Gazprom PJSC" / VNIIGAZ. – Moscow, 2022. – 145 p. – State registration No. 0122-0-3456-Research and Development.
6. Guidelines for quality assurance in gas transportation / edited by S. A. Nikolaev. Moscow: Publishing House "Oil and Gas" Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NIU), 2019. 244 p.
7. Smirnov G.I., Fedorov R.A. Big data and machine learning for management tasks of the Unified Gas Supply System // Gas Industry. – 2023. – No. 3(S). – pp. 56-65.

8. The strategy for the development of the gas industry of the Russian Federation for the period up to 2035 [Electronic resource]: approved by Decree of the Government of the Russian Federation dated February 13, 2024 No. 300-R.
9. Tarasov V.L., Belov P.N. Methods of predictive analytics to prevent commercial losses during gas transportation // Oil and gas business. – 2022. – Vol. 20, No. 1. – pp. 112-125.
10. Federal norms and rules in the field of industrial safety "Rules for the safety of gas distribution and consumption networks" (approved by Rostekhnadzor Order No. 536 dated December 15, 2020). Moscow: Rostekhnadzor, 2020.
11. Digital transformation of the Fuel and energy complex: technologies, standards, safety / A.V. Kuzovkin, O.M. Barteneva, E.S. Gavrilova et al.; Institute of Energy Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow: Energiya, 2021, 188 p.