

МРНТИ 52.47.01

DOI: <https://doi.org/10.62724/202540603>

Бикетов Бактығали Ахметжанович^{*1}

старший преподаватель,

Западно Казахстанский инновационно-технологический университет, Уральск,
Казахстан, b.biketov@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-8385-0194

Калешева Гульмира Ермухамбетовна²

старший преподаватель,

Западно Казахстанский инновационно-технологический университет,
Казахстан, Уральск, kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5610-6774

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН ПО ДОБЫЧЕ НЕФТИ И КОНДЕНСАТА – КОНЦЕПЦИЯ «УМНОЙ СКВАЖИНЫ»

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические и практические аспекты применения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в процессе эксплуатации нефтяных и газоконденсатных скважин. Основное внимание уделено концепции «умной скважины» (Smart Well), основанной на интеграции интеллектуальных сенсорных систем, цифровых двойников и алгоритмов машинного обучения для оптимизации добычи углеводородов. Проведён анализ мировых и отечественных тенденций цифровизации нефтегазовой отрасли, включая проекты компаний Shell Smart Fields, Schlumberger Delfi, BP Field of the Future, Equinor Integrated Operations, а также отечественные инициативы в рамках программы «Цифровое месторождение» в Казахстане.

Особое внимание уделено вопросам внедрения предиктивной аналитики, технологий edge computing (периферийные вычисления), систем управления на базе SCADA и разработке цифровых двойников для мониторинга и моделирования технологических процессов.

Обосновывается необходимость перехода от традиционного диспетчерского управления к интеллектуальным, проактивным и автономным системам эксплуатации, основанным на самообучающихся моделях. Методологическая база исследования опирается на сравнительный анализ международного опыта, синтез эмпирических данных и экспертные оценки эффективности внедрения ИИ в нефтегазовой сфере.

В заключение подчеркиваются ключевые преимущества цифровизации - повышение энергоэффективности и надёжности процессов, снижение эксплуатационных затрат, минимизация производственных рисков, а также формирование интеллектуальных месторождений будущего (Smart Field), способных к адаптивному управлению на основе данных в реальном времени.

Ключевые слова. Искусственный интеллект, умная скважина, цифровое месторождение, цифровой двойник, машинное обучение, SCADA, edge computing, нефтегазовая отрасль, автоматизация.

Бикетов Бактығали Ахметжанұлы^{*1}

аға оқытушы,

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті, Орал, Қазақстан,
b.biketov@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-8385-0194

Калешева Гүлмира Ермұхамбетқызы²

аға оқытушы,

Батыс Қазақстан инновациялық-технологиялық университеті,

Қазақстан, Орал, kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5610-6774

**МҰНАЙ МЕН КОНДЕНСАТ ӨНДІРУ ҰНҒЫМАЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ
КЕЗІНДЕ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІ ПАЙДАЛАНУ – «ЗИЯТКЕРЛІ ҰНҒЫМА»
ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ**

Аңдатпа. Мақалада мұнай және газконденсат ұнғымаларын пайдалану үдерісінде жасанды интеллект (ЖИ) технологияларын қолданудың теориялық және практикалық аспектілері қарастырылған. Негізгі назар гидрокөміртектен өндіруді оңтайландыру мақсатында интеллектуалды сенсорлық жүйелерді, цифрлық егіздерді және машиналық оқыту алгоритмдерін біріктіруге негізделген «зияткерлі ұнғыма» (Smart Well) тұжырымдамасына аударылған. Мұнай-газ саласын цифрландырудың әлемдік және отандық үрдістеріне талдау жасалған, соның ішінде Shell Smart Fields, Schlumberger Delfi, BP Field of the Future, Equinor Integrated Operations, жобалары және Қазақстандағы «Цифрлық кен орны» бағдарламасы аясындағы бастамалар қарастырылған.

Арнайы көңіл болжамдық аналитика, edge computing (перифериялық есептеулер) технологиялары, SCADA негізіндегі басқару жүйелері мен технологиялық үдерістерді бақылау және модельдеу үшін цифрлық егіздерді әзірлеу мәселелеріне бөлінген.

Дәстүрлі диспетчерлік басқарудан интеллектуалды, проактивті және автономды пайдалану жүйелеріне көшу қажеттілігі негізделеді. Бұл жүйелер өздігінен үйренетін үлгілерге сүйенеді. Зерттеудің әдістемелік негізі халықаралық тәжірибені салыстырмалы талдау, эмпирикалық деректерді синтездеу және мұнай-газ саласында ЖИ енгізудің тиімділігіне сараптамалық бағалау әдістеріне сүйенеді.

Қорытынды бөлімде цифрландырудың негізгі артықшылықтары атап өтіледі – энергия тиімділігі мен сенімділіктің артуы, пайдалану шығындарының төмендеуі, өндірістік тәуекелдердің азаюы және нақты уақыт деректеріне негізделген бейімделгіш басқаруға қабілетті интеллектуалды кен орындарының (Smart Field) қалыптасуы.

Кілт сөздер. Жасанды интеллект, зияткерлі ұнғыма, цифрлық кен орны, цифрлық егіз, машиналық оқыту, SCADA, edge computing, мұнай-газ саласы, автоматтандыру.

Biketov Baktygali Akhmetzhanovich^{*1}

Senior lecturer,

West Kazakhstan University of Innovation and Technology, Uralsk, Kazakhstan,

b.biketov@mail.ru, ORCID ID: 0009-0005-8385-0194

Kalesheva Gulmira Ermukhambetovna²

Senior lecturer,

West Kazakhstan University of Innovation and Technology,

Kazakhstan, Uralsk, kalesheva-gulmira_29_69@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5610-6774

**USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE OPERATION OF OIL AND
CONDENSATE PRODUCTION WELLS – THE “SMART WELL” CONCEPT**

Abstract. The article examines the theoretical and practical aspects of applying artificial intelligence (AI) technologies in the operation of oil and gas condensate wells. The main focus is on the concept of the “Smart Well,” which is based on the integration of intelligent sensor systems, digital twins, and machine learning algorithms to optimize hydrocarbon production. The paper analyzes global and domestic trends in the digitalization of the oil and gas industry, including such projects as Shell Smart Fields, Schlumberger Delfi, BP Field of the Future, Equinor Integrated Operations, as well as national initiatives within the framework of the “Digital Oilfield” program in Kazakhstan.

Special attention is paid to the implementation of predictive analytics, edge computing technologies, SCADA-based control systems, and the development of digital twins for monitoring and modeling technological processes.

The necessity of transitioning from traditional dispatch-based management to intelligent, proactive, and autonomous operational systems based on self-learning models is substantiated. The methodological basis of the study relies on a comparative analysis of international experience, synthesis of empirical data, and expert assessments of the effectiveness of AI implementation in the oil and gas sector.

In conclusion, the key advantages of digitalization are highlighted — increased energy efficiency and reliability of processes, reduced operational costs, minimization of production risks, and the formation of intelligent oilfields of the future (Smart Field) capable of adaptive real-time data-driven management.

Key words. Artificial intelligence, smart well, digital oilfield, digital twin, machine learning, SCADA, edge computing, oil and gas industry, automation.

Введение. Современное развитие нефтегазовой отрасли определяется переходом к цифровым технологиям и интеграции инструментов искусственного интеллекта (ИИ) в производственные процессы [6,10]. В условиях исчерпания легкодоступных запасов, усложнения геолого-технических условий и необходимости повышения эффективности эксплуатации скважин возникает объективная потребность в интеллектуальных системах управления добычей. Концепция «умной скважины» (Smart Well) является логическим этапом развития технологий цифрового месторождения и предусматривает внедрение интеллектуальных сенсоров, телеметрии, цифровых двойников и аналитических алгоритмов для оптимизации производственных решений [2,4,9].

Использование ИИ в нефтегазовой сфере охватывает широкий спектр задач - от анализа данных мониторинга и предиктивной диагностики оборудования до адаптивного регулирования технологических режимов добычи и автономного управления скважинами [1,6].

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, внедрение ИИ в нефтегазовой промышленности сталкивается с рядом вызовов — высокие требования к качеству данных, необходимость защиты информационной инфраструктуры, а также потребность в квалифицированных специалистах [3,10]. Таким образом, исследование концепции «умной скважины» имеет не только теоретическое, но и практическое значение для обеспечения устойчивого развития отрасли.

Материалы и методы исследования. Методологической основой данного исследования является системный и сравнительный анализ современных подходов к цифровизации добычи углеводородов с использованием технологий искусственного интеллекта [1,6].

Применялись методы анализа больших данных (Big Data Analytics), машинного обучения, а также моделирования процессов с использованием цифровых двойников [6,9].

В работе использованы данные из научных публикаций, отраслевых отчётов и практических кейсов внедрения интеллектуальных систем в нефтегазовой промышленности [3,4,8,9]. Особое внимание уделено архитектуре ИИ-систем, включающей сенсорные подсистемы, телеметрию, облачные хранилища данных, аналитические модули и системы управления (SCADA, PLC) [8]. Рассмотрены модели машинного обучения, применяемые для анализа временных рядов, прогнозирования отказов оборудования и оптимизации режимов добычи.

Дополнительно использованы методы технико-экономического анализа для оценки влияния внедрения ИИ на показатели производительности, энергоэффективности и безопасности эксплуатации [5,7]. Сопоставление зарубежного и отечественного опыта позволило определить универсальные принципы формирования «умных скважин» и выявить региональные особенности их реализации в Казахстане и странах СНГ.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследования показали, что применение ИИ в управлении добычей нефти и газа способствует переходу от реактивного к проактивному подходу, основанному на непрерывном мониторинге, предиктивной аналитике и адаптивной оптимизации процессов [1,6]. Концепция «умной скважины» предполагает создание замкнутой системы, включающей пять ключевых уровней: сенсорный, телеметрический, аналитический, управленческий и стратегический [2].

На сенсорном уровне используются интеллектуальные датчики, измеряющие давление, температуру, дебит, уровень жидкости и параметры коррозии. Данные передаются через телеметрические системы на основе протоколов Modbus, OPC UA и MQTT. На аналитическом уровне применяются алгоритмы машинного обучения, такие как нейронные сети, регрессионные модели и ансамблевые методы, позволяющие предсказывать производственные аномалии и определять оптимальные параметры эксплуатации [6].

Особое значение имеют технологии цифровых двойников (Digital Twin), которые создают виртуальную копию физической скважины и позволяют моделировать сценарии изменения параметров в реальном времени [9]. Это обеспечивает возможность прогнозирования поведения системы при изменении давления, температуры или дебита, а также оптимизацию графиков технического обслуживания.

Практическое внедрение «умных скважин» демонстрируют проекты компаний Shell (Smart Fields), Schlumberger (DELFI Cognitive E&P Environment), Equinor (Digital Well), BP (Connected Upstream), а также казахстанских предприятий в рамках инициатив «Цифровое месторождение».

Примером успешной интеграции является Рожковское месторождение в Казахстане, расположенного недалеко от города Уральска. Здесь внедрена интеллектуальная система управления технологическими процессами добычи, сочетающая решения промышленной автоматизации и интеллектуального анализа данных. На объекте используется система управления расходом на угловике, оснащённая дроссельным клапаном фирмы AUMA, обеспечивающим высокую точность регулирования потока. Контроль технологических параметров и безопасность процессов реализуются через систему автоматики безопасности WHCP (Wellhead Control Panel), а также через высокоинтегрированные системы защиты от избыточного давления HIPPS (High Integrity Pressure Protection System) [5]. Все элементы объединены в единую

SCADA-платформу, которая позволяет операторам удалённо контролировать состояние оборудования, управлять параметрами добычи и получать диагностические сигналы в режиме реального времени.

Система функционирует в связке с аналитическим модулем, использующим методы искусственного интеллекта для анализа трендов и раннего обнаружения аномалий. Такой подход обеспечивает повышение надёжности, снижение риска аварий и оптимизацию дебита скважин. Опыт Рожковского месторождения демонстрирует, что интеграция ИИ с промышленными системами автоматизации создаёт основу для формирования интеллектуальных скважин.

Однако существует ряд вызовов - необходимость унификации форматов данных, обеспечение кибербезопасности, ограниченность вычислительных ресурсов при обработке больших массивов информации на удалённых объектах. Для их решения применяется концепция edge computing — обработки данных на периферийных устройствах, что позволяет снизить нагрузку на центральные серверы и обеспечить автономность работы интеллектуальных систем даже при перебоях связи [6].

В Казахстане уже наблюдаются конкретные шаги к реализации элементов концепции Autonomous Well и гибридных моделей. Так, исследование 2024 года показало, что цифровые двойники и алгоритмы машинного обучения, работающие на экспериментальной установке, могут повысить эффективность добычи на зрелых скважинах на 10-15 % [7]. Аналогично, компания Recado Group внедряет системы контроля и оптимизации работы штанговых насосов на свыше 4 000 скважинах (Karazhanbas, Mangistaumunaigaz), что показывает практическую применимость сенсорных систем и аналитики в условиях Казахстана.

Кроме того, сотрудничество KazMunayGas и AIQ с модулем Reservoir Performance Advisor (RPA) позволяет применять автоматизированный анализ и прогнозирование пластовых показателей, что может стать базой для автономных режимов работы [5]. Проект «Smart Field» в КазМунайГаз уже демонстрирует улучшения в прозрачности данных, ускорении принятия решений и повышении промышленной безопасности.

Также проект цифрового двойника в северо-восточном Каспийском бассейне Казахстана демонстрирует, что симуляции и планирование в экстремальных морских и климатических условиях могут быть эффективно интегрированы, предоставляя сценарии управления, оценки рисков и оптимизации инфраструктуры добычи [5,10].

Заключение. Проведённое исследование подтверждает, что использование искусственного интеллекта при эксплуатации нефтяных и газоконденсатных скважин является ключевым направлением цифровой трансформации отрасли [1,6,9]. Концепция «умной скважины» обеспечивает переход от традиционного к интеллектуальному управлению, повышает надёжность оборудования, снижает эксплуатационные затраты и минимизирует человеческий фактор [2,4,5].

Внедрение ИИ способствует формированию «умных месторождений», где решения принимаются на основе анализа данных в реальном времени. Дальнейшее развитие автономных систем (Autonomous Well) и цифровых двойников позволит существенно повысить эффективность разработки месторождений и уровень промышленной безопасности [5,7,9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аббас, А. и Храйшех, М. Применение искусственного интеллекта в нефтегазовых операциях. [Текст] // Журнал нефтяной науки и техники, 221, 111228. (2023).

2. Аль-Кахтани, С. и Аль-Доссари, М. Технология интеллектуальных скважин и её роль в оптимизации извлечения углеводородов. [Текст] // Журнал SPE, 27(5), 2123–2137. (2022).
3. BP. Цифровая трансформация в добывающих операциях. [Текст] // Технический отчёт BP. (2023).
4. Equinor. Программа цифровой скважины: использование данных для автономной работы. [Текст] // Белая книга Equinor. (2022).
5. «КазМунайГаз» и AIQ. Интеллектуальная разработка месторождений в Казахстане. [Текст] // Отчёт об инновациях в отрасли. (2024).
6. MDPI. Искусственный интеллект в нефтегазовой отрасли: применение, проблемы и будущие направления. [Текст] // Энергетика, 16(2), 546. (2023).
7. Recado Group. Системы предиктивного обслуживания штанговых насосов в Казахстане. [Текст] // Внутреннее издание. (2024).
8. Schlumberger. Обзор когнитивной среды разведки и добычи DELFI. [Текст] // Техническая брошюра. (2023).
9. Shell. Интеллектуальные месторождения и технологии цифровых двойников. [Текст] // Отчет Shell Global Energy Solutions. (2023).
10. ЮНЕСКО. Цифровизация добывающих отраслей и устойчивое развитие. [Текст] // Технический документ. (2022).

REFERENCES

1. Abbas, A. i Hrajshekh, M. Primenenie iskusstvennogo intellekta v neftegazovyh operaciyah. [The use of artificial intelligence in oil and gas operations.]. // Zhurnal neftyanoj nauki i tekhniki, 221, 111228. (2023). – (In Rus)
2. Al'-Kahtani, S. i Al'-Dossari, M. Tekhnologiya intellektual'nyh skvazhin i eyo rol' v optimizacii izvlecheniya uglevodorodov. [The technology of intelligent wells and its role in optimizing the extraction of hydrocarbons.]. // Zhurnal SPE, 27(5), 2123–2137. (2022). – (In Rus)
3. BP. Cifrovaya transformaciya v dobyvayushchih operaciyah. [Digital transformation in mining operations.]. // Tekhnicheskij otchyot BP. (2023). – (In Rus)
4. Equinor. Programma cifrovoj skvazhiny: ispol'zovanie dannyh dlya avtonomnoj raboty. [Digital Well program: using data for autonomous operation.]. // Belaya kniga Equinor. (2022). – (In Rus)
5. «KazMunajGaz» i AIQ. Intellektual'naya razrabotka mestorozhdenij v Kazahstane. [KazMunayGas and AIQ. Intellectual development of deposits in Kazakhstan.]. // Otchyot ob innovaciyah v otrasli. (2024). – (In Rus)
6. MDPI. Iskusstvennyj intellekt v neftegazovoj otrasli: primeneniye, problemy i budushchie napravleniya. [Artificial intelligence in the oil and gas industry: applications, problems and future directions.]. // Energetika, 16(2), 546. (2023). – (In Rus)
7. Recado Group. Sistemy prediktivnogo obsluzhivaniya shtangovyh nasosov v Kazahstane. [Predictive maintenance systems for rod pumps in Kazakhstan.]. // Vnutrennee izdanie. (2024). – (In Rus)
8. Schlumberger. Obzor kognitivnoj sredy razvedki i dobychi DELFI. [An overview of the cognitive environment of DELFI exploration and production. [Text] // Technical brochure.]. // Tekhnicheskaya broshyura. (2023). – (In Rus)
9. Shell. Intellektual'nye mestorozhdeniya i tekhnologii cifrovyyh dvojnikov. [Intellectual deposits and digital twin technologies.]. // Otchet Shell Global Energy Solutions. (2023). – (In Rus)

10. YuNESKO. Cifrovizaciya dobyvayushchih otraslej i ustojchivoe razvitie. [UNESCO. Digitalization of extractive industries and sustainable development.]. // Tekhnicheskij dokument. (2022). – (In Rus)