

УДК 665.6/.7

ВОЗМОЖНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПОВЫШЕНИИ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Норинов Фахриёр Курбанович – доцент,
ORCID: 0009-0001-8143-2897, E-mail: norinov_faxriyor@mail.ru

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Узбекистан

***Аннотация.** В данной статье представлен подробный анализ потенциала интеграции цифровых инноваций для улучшения показателей извлечения нефти из пластов. Процесс увеличения нефтеотдачи пластов, или ПНП, определяется как стратегическое вмешательство в пласт с целью максимизации добычи нефти за пределами возможностей вторичных методов.*

Автор статьи особо выделяют важность таких технологий, как Интернет вещей и промышленный Интернет, искусственный интеллект, анализ больших данных, робототехника и автоматизация, а также облачные технологии.

Исследование подчёркивает, что адаптация передовых технологий, ставших символами Четвёртой промышленной революции, не только способствует удовлетворению растущего мирового энергетического аппетита, но и значительно повышает эффективность работы нефтяных месторождений, обеспечивая более экономичное и экологически устойчивое производство.

Можно утверждать, что цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли является ключевым фактором устойчивого развития и может сыграть решающую роль в обеспечении будущих энергетических потребностей человечества, делая добычу более эффективной, экологичной и безопасной.

Ключевые слова: нефтеотдача, цифровизация, Интернет вещей, облачные технологии.

UDC 665.6/.7

DIGITAL TECHNOLOGY OPPORTUNITIES IN ENHANCING OIL RECOVERY FROM RESERVOIRS

Norinov, Fakhriyor Kurbonovich – Associate professor(docent),
ORCID: 0009-0001-8143-2897 E-mail: norinov_faxriyor@mail.ru

Karshi engineering-economics institute, Karshi city, Uzbekistan

***Abstract.** This article presents a detailed analysis of the potential for integrating digital innovations to improve oil extraction rates from reservoirs. The process of increasing oil recovery from reservoirs, or EOR, is defined as strategic intervention in a reservoir to maximize oil production beyond the capabilities of secondary methods.*

The authors of the article highlight the importance of technologies such as the Internet of Things (IoT) and Industrial Internet, Artificial Intelligence (AI), big data analytics, robotics and automation, as well as cloud technologies.

The research emphasizes that the adaptation of advanced technologies, which have become symbols of the Fourth Industrial Revolution, not only contributes to satisfying the growing global energy appetite but also significantly increases the efficiency of oil fields, ensuring more economical and environmentally sustainable production.

It can be argued that digital transformation in the oil and gas industry is a key factor in sustainable development and can play a decisive role in meeting humanity's future energy needs, making production more efficient, environmentally friendly and safe.

Keywords: oil recovery efficiency, digitalization, Internet of Things, cloud technologies

UO‘K 665.6/.7

QATLAMLARNING NEFT QAZIB OLIISH SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNING IMKONIYATLARI

Norinov Faxriyor Kurbonovich – dotsent,
ORCID: 0009-0001-8143-2897 E-mail: norinov_faxriyor@mail.ru

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi sh., O‘zbekiston

***Annotatsiya.** Ushbu maqolada qatlamlardan neft qazib olish ko‘rsatkichlarini yaxshilash uchun raqamli innovatsiyalarni integratsiyalash potentsiali batafsil tahlili taqdim etilgan. Qatlamlarning neft qazib olish samaradorligini oshirish jarayoni, qatlamlarga strategik aralashuv sifatida ta’riflanadi, bu esa ikkilamchi usullardan tashqarida neft qazib olishni maksimal darajada oshirish maqsadida amalga oshiriladi.*

Maqola mualliflari Internet narsalari va sanoat Interneti, sun‘iy intellekt, katta ma’lumotlarni tahlil qilish, robototexnika va avtomatizatsiya hamda bulutli texnologiyalar kabi texnologiyalarning muhimligini alohida ta’kidlashadi.

Tadqiqot, to‘rtinchi sanoat inqilobining ramziga aylangan ilg‘or texnologiyalarni moslashtirish nafaqat o‘zib borayotgan global energetika ehtiyojini qondirishga yordam beradi, balki neft konlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi, bu esa yanada iqtisodiy va ekologik jihatdan barqaror ishlab chiqarishni ta’minlaydi.

Neft va gaz sanoatidagi raqamli transformatsiya barqaror rivojlanishning asosiy omili bo‘lib, insoniyatning kelajakdagi energiya ehtiyojlarini qondirish, ishlab chiqarishni yanada samarali, ekologik toza va xavfsiz qilishda hal qiluvchi rol o‘ynashi mumkinligini ta’kidlash mumkin.

Kalit so‘zlar: neft qazib olish samaradorligi, raqamlashtirish, narsalar Interneti, bulutli texnologiyalar.

Введение

В последние десятилетия мир столкнулся с растущим спросом на энергетические ресурсы, что сделало нефть и её продукты ключевыми элементами в глобальной энергетической системе. В ответ на это, нефтегазовая отрасль уделяет особое внимание разработке и внедрению инновационных технологий. На стадии после первичной и вторичной добычи в пластах остается значительное количество углеводородов. Третичное восстановление, или технологии повышения нефтеотдачи (EOR), целенаправленно работают с этими остаточными запасами. Однако, многие месторождения, исчерпавшие свои ресурсы, сталкиваются с повышенными эксплуатационными расходами и устареванием оборудования, что делает инвестиции в их разработку менее привлекательными и повышает риски [1].

Цифровая трансформация представляется как ключевое решение этих вызовов. Прогресс в сфере аналитики данных, искусственного интеллекта и промышленного Интернета вещей в последнем десятилетии значительно способствовал оптимизации производственных процессов в нефтяной отрасли[2]. Эти технологии помогают в управлении сложностями, прогнозировании и минимизации потерь, а также в адаптации к изменениям рыночной среды и непредвиденным обстоятельствам. Эффективность и результативность повышения нефтеотдачи пластов также выигрывают от внедрения цифровых технологий [3].

Исследование базируется на анализе, синтезе и обобщении доступных научных работ и статистических данных по теме, демонстрируя значимость цифровизации для современной нефтяной промышленности и её роль в устойчивом развитии энергетического сектора.

Методы и материалы (Теоретические основы)

Сегодня цифровая трансформация представляет собой главный тренд в нефтегазовом секторе. Среди передовых инноваций, реализуемых крупнейшими мировыми нефтегазовыми компаниями и связанными с извлечением углеводородов из глубоких и труднодоступных залежей, вложения в цифровые технологии занимают лидирующие места. Нефтяные компании видят большие возможности для применения широкого спектра быстро развивающихся технологий, включая корпоративные облачные вычисления, виртуальную и дополненную реальность, дроны и обмен данными на основе блокчейна для увеличения нефтеотдачи пластов. В связи с этим рассматриваемая тематика является актуальной, теоретически и практической значимой, что и обуславливает выбор темы данной статьи.

Перспективы и возможности использования искусственного интеллекта для выбора наиболее эффективных методов повышения нефтеотдачи в зависимости от характеристик пород-коллекторов и флюидов, а также геологических условий рассматриваются в трудах таких авторов как: О.В. Байкова, Е.О. Громыко [1], Е.А. Куклина, Д.Н. Семкова [2], И.Ф. Нурисламов [4], Ю.Д. Соколова [5], Р.И. Низамутдинов [6] и др. авторы.

Потенциал прогнозного анализа на основании технологии Big Data, который позволяет определить оптимальную программу будущего развития труднодоступного пласта, описывается F. Mehran [3], M. Iwase [7], Y. Liu [8], K. Sorbie, A. Skauge [9].

В тоже время, несмотря на активный интерес к рассматриваемой проблематике, достижения Четвертой промышленной революции, прорывные цифровые инновации, которые появляются на рынке, определяют необходимость регулярного обновления аналитической базы и корректировки сфер применения передовых технологий.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении потенциала использования цифровых технологий для повышения нефтеотдачи пластов.

Повышение нефтеотдачи пластов (ПНП) – это процесс искусственного воздействия на пласт с целью извлечения большего количества нефти после того, как вторичные методы стали неспособны поддерживать желаемые объемы добычи [6]. Кроме того, ПНП обычно применяется, когда оставшаяся в пласте нефть находится в труднодоступных (низкопроницаемых) участках с плохим водонефтяным контактом или неровными линиями разломов.

Цифровые технологии позволяют сделать третичные методы извлечения нефти более эффективными, безопасными и «умными» [5]. Например, алгоритмы ИИ обеспечивают конкурентное преимущество, а также позволяют нефтяным компаниям повысить производительность месторождений и скважин. Кроме того, постепенное внедрение передовой робототехники и методов управления данными ускоряет время обработки и снижает потребность в человеческом труде.

По итогам проведенного анализа можно выделить десять основных цифровых технологий, которые нашли свое применение в той или иной степени в процессе повышения нефтеотдачи пластов (рис. 1).

Анализ капитальных затрат на цифровизацию процесса нефтедобычи свидетельствует о том, что обнаруживаются значительные различия между тем, когда компании вкладывают средства в традиционные технологии или апробируют прорывные инновации. В среднем более прогрессивные технологические решения обеспечивают более высокую отдачу от производительности. Например, Интернет вещей и большие данные позволяют получить наибольшую прибыль: лидеры отрасли достигли 160% дополнительного показателя EBITDA на одного сотрудника, инвестирующего в эти технологии, тогда как для остальной части «не оцифрованного» сектора, этот показатель находился на отметке 120%.

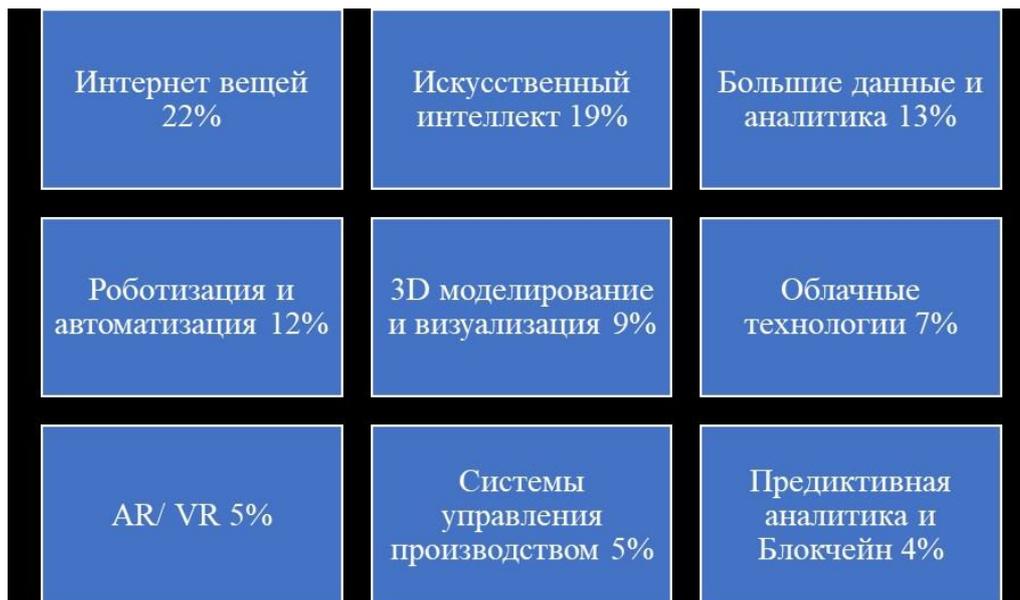


Рис.1. Цифровые технологии в третичной добыче нефти и частота их использования

Далее следуют доходы от роботизации и облачных технологий, которые приносят 80% для цифровых лидеров и 40% для тех, кто этими технологиями пренебрегает. Ряд предприятий заявляет о наибольшей прибыли от инвестиций в 3D моделирование и визуализацию (90%), в то время как классические инженерные технологии обеспечивают 50% прибыли компаниям, ориентированным на них. Из всех проанализированных технологий когнитивные технологии принесли наибольшую отдачу нефтедобывающим предприятиям, обеспечив 1,90 доллара на сотрудника на каждый вложенный доллар [10].

В рисунке 2 представлена сравнительная характеристика рентабельности инвестиций в цифровые технологии для повышения нефтеотдачи пластов и традиционные приемы.

	Робототехника	Интернет вещей	Предиктивная аналитика	AR/VR	Блокчейн
Рентабельность цифровые методы	1,9	1,7	1,2	1,3	1,4
	Тепловые методы	Химические методы	Газовые методы	Гидродинамические	Комбинированные
Рентабельность традиционные методы	0,8	0,6	0,5	0,9	1,4

Рис.2. Рентабельность инвестиций в различные технологии нефтеотдачи пластов

Рассмотрим более подробно возможности наиболее популярных технологий, представленных на рис. 1.

Интернет вещей и промышленный Интернет вещей – это системы взаимосвязанных вычислительных устройств и машин, которые соединены друг с другом цифровым способом для улучшения повседневных операций или оптимизации управления промышленными процессами. Датчики Интернета вещей в нефтегазовой отрасли используются для сбора данных в режиме реального времени из нефтяной скважины, которые можно комбинировать с цифровой аналитикой и инструментами самодиагностики для автоматического мониторинга и оптимизации производительности скважины [8].

В качестве примера можно привести новую технологию, позволяющую обнаруживать газ с помощью электрохимических датчиков. Также широкое распространение получили датчики, размещенные внутри скважин, противовыбросовые превенторы и дроссельные клапаны, которые дают возможность собирать данные в режиме реального времени. Используя эти сведения, облачные вычисления позволяют выявлять неисправное оборудование, помогая полевым инженерам прогнозировать и быстро реагировать на нештатные ситуации. Кроме того, решения Интернета вещей открывают широкие возможности для минимизации затрат на техническое обслуживание [7].

Реализованным на практике примером использования Интернета вещей, который успешно комбинирован с машинным обучением, является метод увеличения добычи нефти из скважин с тяжелой нефтью на основе заводнения паром. Ученые из исследовательского университета Корнелла предложили рабочий процесс парового заводнения месторождения для работы с категорией данных временных рядов, которые могут быть проанализированы с помощью алгоритмов машинного обучения под наблюдением и ИИ. На основании этого была предложена система оптимизации, которая рекомендует оптимальный план распределения пара, что в результате привело к повышению добычи нефти на 3% [9].

Кроме того, в 2016 году Shell развернула решение для подключения к Интернету вещей, которое объединило технологии автоматизации и контрольно-измерительных приборов для сбора данных с удаленных нефтяных месторождений и оптимизации операционной эффективности.

Искусственный интеллект. Это широкий термин для описания использования компьютеров, роботов и других машин с целью автономного выполнения задач, которые традиционно требовали человеческого разума. Одной из распространенных форм искусственного интеллекта в области повышения нефтеотдачи пластов является использование интеллектуальных алгоритмов для анализа операционных данных, извлечения информации, а затем автоматического внедрения улучшенных процессов [1].

Так, например, методы искусственного интеллекта могут быть использованы для оценки эффективности операции полимерного заводнения. Для этого строится модель и в качестве входных данных модели выбираются основные параметры полимерного заводнения: концентрация полимера, концентрация соли, тип породы, начальная нефтенасыщенность, пористость, проницаемость, объем пор, температура, гравитация API, молекулярный вес полимера и соленость. Для реализации модели может использоваться многослойный перцептрон, радиальная базисная функция и нечеткие нейронные сети, такие как адаптивная нейро-нечеткая система умозаключений. Эта модель существенно помогает инженерам в выборе правильных методов повышения нефтеотдачи, а также определения какие параметры оказывают наибольшее влияние на эффективность полимерного заводнения.

Большие данные и аналитика. Повседневные операции в нефтяной отрасли генерируют большие объемы неструктурированных данных. Платформы больших данных помогают отраслевым аналитикам данных извлекать ценную информацию из сведений о производстве и производительности конкретных месторождений. Это также полезно для инженеров, которые стремятся оптимизировать добычу и обеспечить безопасность резервуаров. Помимо этого, исторические данные о предыдущих операциях лучше обучают и тестируют алгоритмы и модели, управляемые ИИ [6].

Большие данные и аналитика позволяют эффективно объединить сложнейшую математику с физикой пласта, машинным обучением, когнитивным анализом и массивными параллельными вычислениями. Результатом такой интеграции является поведенческая модель, которая описывает, что делает пласт, в дополнение к его геологической модели, которая описывает, что представляет собой пласт. Поведенческая модель способна за 24 часа отсеять более 15 млн потенциальных планов разработки месторождений и найти оптимальный план, соответствующий целям нефтяной компании. Кроме того, за четыре месяца такая модель может создать прогноз добычи с точностью 95% (или выше). Данная модель была

протестирована на десятках пластов по всему миру. Увеличение добычи более чем на 20% удалось достигнуть при минимальных капитальных вложениях; умеренные капитальные вложения обеспечили увеличение добычи на 35% и более [4].

Британский стартап Phoenix RDS использует большие данные и аналитику для оптимизации заводнения, добычи и бурения. Это позволяет операторам нефтегазовых активов повысить эффективность охвата пласта и снизить требования к объему закачки.

Роботизация и автоматизация. Зачастую операторы нефтегазовой отрасли работают в сложных и жестких условиях, представляющих значительный риск для безопасности людей. Для устранения этого риска нефтяная промышленность приспосабливается к решениям в области робототехники и автоматизации для повышения безопасности на рабочем месте, а также скорости выполнения операций.

Примером в данном случае является интегрированное цифровое решение по повышению нефтеотдачи пластов (ID-EOR), позволяющее в псевдореальном времени оптимизировать сети нагнетания и добычи для повышения эффективности активов и максимизации чистой текущей стоимости [5].

Показатели ID-EOR для каждого бизнес-процесса (например, отношение закачиваемой жидкости к нефти, индекс продуктивности и коэффициент извлечения), возможности автоматизации, логика и характеристики рабочего процесса, диаграммы потоков и математические модели определяются и отображаются отдельно для процессов закачки и добычи. С целью структурирования различных автоматизированных рабочих процессов в некоторых случаях используется подход, основанный принципах «плавательной дорожки». Этими «дорожками» являются (i) краткосрочная диагностика нагнетательных скважин и регулярное обновление сети, (ii) модель пласта, (iii) регулярное обновление сети добычи и краткосрочная диагностика добывающих скважин [3].

Облачные технологии. Облачные технологии способны хранить и обрабатывать данные на удаленных серверах, высвобождая дорогостоящую локальную память и вычислительные мощности.

В феврале 2019 года компания ExxonMobil заключила партнерство с Microsoft для внедрения облачных технологий в своих операциях в бассейне PermianBasin. Цель этого шага – обеспечить более эффективную работу и повысить прибыль за счет использования технологий Microsoft, включая Microsoft Azure, Dynamics 365, Machine Learning и IoT. Этот шаг гарантирует, что ExxonMobil получит представление о работе скважин и перспективах будущего бурения, что, как ожидается, позволит увеличить добычу на месторождениях в Permian примерно на 50 000 баррелей нефтяного эквивалента в день к 2025 году [10].

Выводы

Заключение статьи подводит итог всестороннему анализу влияния цифровизации на процессы повышения нефтеотдачи пластов. В современной нефтегазовой отрасли цифровая трансформация выступает не просто как тенденция, но как необходимость, открывающая новые горизонты для развития и увеличения эффективности добычи. Использование передовых технологий, таких как искусственный интеллект, облачные вычисления, большие данные, роботизация и Интернет вещей, демонстрирует значительные перспективы для оптимизации операций, снижения затрат и повышения безопасности производственных процессов.

Анализ показал, что инвестиции в цифровые инновации не только увеличивают производительность, но и обеспечивают значительное конкурентное преимущество компаниям, внедряющим эти технологии. Результаты исследования указывают на то, что комплексное применение цифровых решений в третичной добыче нефти способно значительно повысить нефтеотдачу пластов, что важно в условиях истощения традиционных месторождений и возрастающих мировых энергетических потребностей.

Тем не менее, для реализации полного потенциала цифровизации необходимы постоянное обновление аналитической базы и адаптация инноваций под конкретные условия и задачи каждого месторождения. Это требует не только значительных финансовых вложений, но и развития культуры инноваций внутри отрасли, обучения специалистов и формирования открытости к новым методам работы.

В заключение, можно утверждать, что цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли является ключевым фактором устойчивого развития и может сыграть решающую роль в обеспечении будущих энергетических потребностей человечества, делая добычу более эффективной, экологичной и безопасной.

Литература

- [1] Байкова О.В. Эффекты цифровой трансформации в нефтегазовом комплексе / О.В. Байкова, Е.О. Громыко // Вестник ГУУ. — 2021. — №6. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/effekty-tsifrovoy-transformatsii-v-neftegazovom-komplekse> (дата обращения: 16.07.2023).
- [2] Куклина Е.А. Цифровые технологии как ключевой инструмент повышения эффективности нефтегазовой отрасли России в современных условиях функционирования / Е.А. Куклина, Д.Н. Семкова // Управленческое консультирование. — 2020. — №4 (136). — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovyte-tehnologii-kak-klyuchevoy-instrument-povysheniya-effektivnosti-neftegazovoy-otrasli-rossii-v-sovremennyh-usloviyah> (дата обращения: 16.07.2023).
- [3] Mehran F. Enhanced Oil Recovery Surveillance and Operation Optimization through Digital Oilfield / F. Mehran // International Petroleum Technology Conference. — 2022. — Vol. 5. — p. 3884-3895.
- [4] Нурисламов И.Ф. Влияние цифровой трансформации на эффективность нефтяных компаний / И.Ф. Нурисламов // Инновации и инвестиции. — 2021. — № 5. — С. 65-67.
- [5] Соколова Ю.Д. Процесс цифровой трансформации нефтегазовой отрасли Российской Федерации: состояние, барьеры, перспективы / Ю.Д. Соколова // Н.Экс.Т. — 2021. — №3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/protsess-tsifrovoy-transformatsii-neftegazovoy-otrasli-rossiyskoy-federatsii-sostoyanie-bariery-perspektivy> (дата обращения: 16.07.2023).
- [6] Низамутдинов Р.И. Перспективы нефтяной отрасли и роль цифровизации в её развитии / Р.И. Низамутдинов // Экономика и управление: научно-практический журнал. — 2022. — № 5 (167). — С. 18-25.
- [7] Iwase M. Application of a Digital Oil Model to Solvent-Based Enhanced Oil Recovery of Heavy Crude Oil / M. Iwase // Energy and Fuels. — 2019. — Vol. 33. — No. 11. — p. 10868-10877.
- [8] Liu Y. Pore-Scale Mobility Evaluation for Tight Oil Enhanced Oil Recovery Methods Based on Miniature Core Test and Digital Core Construction / Y. Liu // Industrial and Engineering Chemistry Research. — 2021. — No. 6. — p. 2625-2633.
- [9] Sorbie K. Mobilization of By-Passed Oil by Viscous Crossflow in EOR Processes / K. Sorbie, A. Skauge // European Association of Geoscientists & Engineers. in IOR 2019–20th European Symposium on Improved Oil Recovery. — 2019. — vol. 2019. — no. 1. — p. 1-16
- [10] BRU21. Better Resource Utilization in the 21st century // NTNU Strategy for Oil and Gas. — URL: http://www.ipt.ntnu.no/BRU21_Report.pdf (accessed: 07/16/2023).