

DOI 10.58351/2949-2041.2026.33.4.014

Антипов Сергей Константинович
к.э.н., старший преподаватель, СПбПУ

Балашова Алёна Артёмовна,
Студент, СПбПУ

Войнова Варвара Дмитриевна,
Студент, СПбПУ

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ В ОСВОЕНИИ АРКТИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ: ОЦЕНКА ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ И РИСКОВ – АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ВЛИЯНИЯ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОЕКТОВ

Аннотация. Статья посвящена анализу применения технологий цифровых двойников при освоении углеводородных месторождений Арктической зоны. Показано, что высокая капиталоемкость и экологические риски требуют внедрения интеллектуальных систем управления жизненным циклом объектов. Рассмотрены архитектура цифровых двойников, их влияние на оптимизацию затрат и повышение точности прогнозирования технологических рисков. Приведены практические примеры внедрения на российских предприятиях. Затрагиваются вопросы предиктивной аналитики и импортозамещения программно-аппаратных комплексов.

Ключевые слова: Цифровой двойник, Арктика, месторождение, моделирование, себестоимость, инвестиционные риски, предиктивная аналитика, промышленная безопасность, импортозамещение.

Освоение арктических недр сопровождается факторами, которые кардинально меняют экономику проектов. Экстремальные температуры, достигающие $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, многолетнемерзлые породы, удаленность от транспортной и промышленной инфраструктуры превращают добычу углеводородов в предприятие с высокой степенью неопределенности. По оценкам Министерства природных ресурсов, при текущем уровне добычи рентабельных запасов хватит примерно на 26 лет, а более 70% неразведанных ресурсов сосредоточено именно в Арктической зоне, где ошибки в инженерных расчетах могут обойтись в миллиардные потери [1]. В подобных условиях ставка на интуицию и разрозненные данные становится неприемлемой – требуется инструмент, который возьмет на себя функцию единого источника достоверной информации об активе.

С точки зрения статистического анализа, внедрение цифровых двойников представляет собой переход от выборочных измерений и экспертных оценок к сплошному мониторингу всего производственного массива. Традиционные методы управления месторождением опираются на ретроспективные данные: инженер получает информацию о давлении и дебите за прошедшие сутки, сопоставляет с плановыми показателями и корректирует режим. Цифровой двойник меняет эту парадигму – он собирает показатели с тысяч датчиков в реальном времени, обрабатывает их с помощью встроенных физико-математических моделей и выдает прогноз на часы и дни вперед. Фактически на смену выборочному контролю приходит генеральная совокупность измерений, что радикально повышает статистическую значимость управленческих решений.

Цифровой двойник месторождения представляет собой динамическую виртуальную модель физического объекта, которая обновляется в режиме реального времени за счет непрерывного поступления данных с датчиков, установленных на скважинах, трубопроводах и установках подготовки продукции [2]. Принципиальное отличие такого двойника от статичной трехмерной модели состоит в том, что он живет и меняется синхронно со своим



реальным прототипом. Если в пласт закачали реагент, модель немедленно пересчитывает прогноз дебита; если датчик давления зафиксировал отклонение, двойник сигнализирует о риске прорыва воды – и все это без вмешательства оператора.

Вице-премьер Российской Федерации А.В. Новак в мае 2025 года сообщил, что уже 40% предприятий ТЭК внедрили искусственный интеллект в свою работу. Дальнейшая цифровая трансформация, по его оценке, позволит увеличить долю автоматизации процессов до 80%, а совокупный уровень промышленной роботизации – до 70%, при этом производительность труда возрастет в 1,5-2 раза. В ноябре 2025 года А.В. Новак в интервью добавил, что за счет внедрения современных цифровых решений ускорится принятие решений и повышается эффективность работы ТЭК. По данным Минэнерго России, доля компаний энергетического сектора, использующих искусственный интеллект в бизнес-процессах, выросла с 21% в начале 2022 года до 58% к концу 2025 года. Ожидается, что к 2027 году показатель достигнет 70%.

Практический опыт российских компаний подтверждает экономическую эффективность технологии. Специалисты «Мессояханефтегаза» создали единую цифровую модель Восточно-Мессояхского месторождения – самого северного материкового нефтяного промысла в России. Модель включает двойники 550 эксплуатационных и нагнетательных скважин, виртуальную копию трубопроводной системы протяженностью порядка 500 километров, а также модель флюида – потока углеводородов от пласта до установок сбора и подготовки нефти. Точность интегрированных расчетов превышает 97%.

Количественная оценка эффективности внедрения цифровых двойников была выполнена в ряде научных работ. Р.А. Измайлов на основе данных пяти вертикально-интегрированных компаний за 2018-2023 годы провел эконометрическое и DCF-моделирование с расчетом NPV, IRR и срока окупаемости. Результаты показывают, что применение цифровых двойников на стадиях проектирования снижает CAPEX на 6,7-9,5%, а в эксплуатации кумулятивное уменьшение OPEX к пятому году достигает 16,42% – главным образом за счет перехода к предиктивному техническому обслуживанию (-23,9% от базового уровня) и снижения энергопотребления (-11,3%). Интегральные финансовые показатели для типового месторождения составили: NPV 82,45 млн долл., IRR 24,6%, дисконтированный срок окупаемости 4,8 года, индекс прибыльности PI 1,78. Стресс-тестирование подтвердило сохранение NPV больше нуля при падении цены нефти на 20% или росте затрат внедрения на 30%.

Данные, полученные в смежных добывающих отраслях, подтверждают устойчивость этих оценок. Исследование Н.В. Кучковской на выборке из 50 горнодобывающих компаний России за 2019-2024 годы показало, что использование цифровых двойников сокращает аварийные простои на 15-20%, а комплексная цифровизация снижает операционные затраты на 40% и капитальные на 25%, одновременно увеличивая коэффициент извлечения на 4% [3]. Важно отметить, что 63% опрошенных компаний прогнозируют значительное сокращение затрат в пятилетнем горизонте благодаря цифровым проектам, а инвестиции в цифровые технологии выросли с 4,2 млрд руб. в 2019 году до 7,4 млрд руб. в 2024 году – прирост на 76,2%.

Не менее значимый вклад вносит технология в решение экологических проблем – вопрос, который для хрупкой природы Севера стоит особенно остро. Специалисты Пермского национального исследовательского политехнического университета разработали цифровой двойник арктической скважины, с точностью 95% прогнозирующий распространение тепла при закачке горячего пара. Модель учитывает изменение свойств материалов при нагреве, состояние грунта, динамику теплопотерь и локальные дефекты труб, позволяя подобрать режим прогрева, при котором вязкая нефть разжижается, но окружающая мерзлота остается стабильной.

Параллельно развиваются и специализированные решения. Программный комплекс GasNet Sirius, разработанный в Тюменском нефтяном научном центре, на примере Берегового месторождения показал устойчивость вычислительного аппарата и высокую скорость расчета,



что дает возможность применять его в режиме реального времени. Коллектив авторов – Т.А. Пospelova, С.М. Князев, А.В. Стрекалов, Р.Р. Лопатин и Д.Н. Трушников – делают акцент на том, что комплекс лишен недостатков классических симуляторов многофазного потока и может быть встроено непосредственно в контур цифрового двойника [4]. На Добринском газоконденсатном месторождении внедрение цифрового двойника на базе ПО «АЭРОСИМ» позволило снизить потребление метанола и электроэнергии на 2-5% и увеличить выход товарной продукции УКПГ на 3% по СПБТ и на 1% по стабильному конденсату [5].

Статистическая обработка производственных данных, накопленных в ходе эксплуатации цифровых двойников, позволяет выявлять скрытые закономерности, недоступные при традиционном анализе. Так, система ежедневно обрабатывает несколько тысяч измерений, применяя методы корреляционного анализа для обнаружения связей между технологическими параметрами и вероятностью отказов. При обнаружении устойчивой корреляции, например между амплитудой вибрации насоса и концентрацией механических примесей, алгоритм автоматически ужесточает пороговые значения, что ведет к сокращению внеплановых простоев. По данным отраслевых исследований, незапланированные простои снижаются на 54,7%, а общая эффективность оборудования (ОЕЕ) растет на 7,6 процентных пункта.

Оборотной стороной ускоренного технологического развития стала проблема импортозамещения. С января 2025 года полностью запрещено использование иностранного ПО и программно-аппаратных комплексов на объектах критической информационной инфраструктуры. В результате охват отечественными решениями в критических системах ТЭК достиг 85%. По данным Минэнерго, порядка 90% цифрового бюджета компании ТЭК тратят исключительно на отечественное оборудование и программное обеспечение. Замглавы Минэнерго Э. Шереметцев подчеркнул, что речь идет не просто о замене одного производителя на другого, а о полном цикле – от разработки национальных стандартов и фундаментальных исследований до собственных технологий и продуктов. А.В. Крючков проанализировал модели применения технических средств для цифровых двойников в условиях ограниченного доступа к зарубежным технологиям, указав, что наиболее эффективными остаются облачные технологии на базе центров обработки данных, создание и поддержка которых требуют затрат, непосильных для малых и средних компаний [6].

Государство предпринимает шаги по созданию рамочных условий для цифровой модернизации ТЭК. В марте 2024 года Правительством Российской Федерации утверждено стратегическое направление в области цифровой трансформации топливно-энергетического комплекса до 2030 года (распоряжение от 12 марта 2024 г. № 581-р) [7]. По итогам форума «Российская энергетическая неделя» 2025 года Президент Российской Федерации В.В. Путин поручил Правительству до 1 февраля 2026 года представить предложения по размещению центров обработки данных в потенциально энергопрофицитных районах России.

Цифровой двойник также выступает эффективным инструментом управления геокриологическими рисками. Компания «Газпром нефть» создала цифровую модель вечной мерзлоты для западной части полуострова Ямал, объединяющую данные 3,5 тысяч инженерно-геологических скважин, космической съемки, полевых и лабораторных исследований. Модель охватывает участки общей площадью свыше 15 тысяч квадратных километров и позволяет прогнозировать изменения многолетнемерзлых грунтов до 2050 года.

Е.А. Куikliна и К.И. Дементьев подчеркивают, что цифровая трансформация нефтегазового сектора меняет бизнес-модели и способствует модернизации экономики, а основной экономический эффект от цифровых двойников заключается в сокращении эксплуатационных расходов и повышении надежности оборудования [8].

Остаются нерешенными и другие проблемы: нестабильность спутниковых каналов связи в высоких широтах, дефицит специалистов, способных одновременно разбираться в физике пласта и алгоритмах машинного обучения, а также высокая начальная стоимость развертывания полномасштабных цифровых моделей. Однако опыт Восточно-Мессояхского



месторождения показывает, что при методичном подходе эти препятствия преодолимы, а полученный экономический эффект – рост производительности, сокращение простоев и повышение извлекаемости запасов – полностью окупает первоначальные инвестиции.

Таким образом, цифровой двойник из экспериментальной концепции превратился в прикладной инструмент, который уже сегодня меняет калькуляцию арктических проектов. Снижая неопределенность на всех этапах – от разведки до вывода продукции, он позволяет точнее оценивать риски, обоснованнее планировать бюджеты и, как следствие, повышать инвестиционную привлекательность даже тех активов, которые еще несколько лет назад считались нерентабельными. Дальнейшие исследования в этом направлении будут связаны с построением эконометрических моделей для количественной оценки влияния цифровых двойников на ключевые финансовые показатели, а также с разработкой унифицированных методик расчета готовности компаний к подобной трансформации

Список литературы:

1. Антипов, С. К. Перспективы оценки устойчивого развития арктических регионов на базе нейросетевых цифровых двойников // Перспективные исследования в сфере права, общества и управления: Сборник статей XXIII международной научной конференции, Санкт-Петербург, 16 декабря 2025 года. – Санкт-Петербург: ООО "Международный институт перспективных исследований им. Ломоносова", 2025. – С. 5-9. – DOI 10.58351/251216.2025.71.53.002.
2. Измайлов Р.А. Экономическая эффективность внедрения цифровых двойников в нефтегазовом производстве // Вопросы природопользования. – 2025. – Т. 4, № 7. – С. 62-71. – DOI: 10.25726/e4996-7432-6042-e.
3. Кучковская Н.В. Экономическая эффективность цифровой трансформации горнодобывающих предприятий в условиях технологической модернизации и решений Индустрии 4.0 // Горная промышленность. – 2025. – № 6. – С. 88-96.
4. Поспелова Т.А., Князев С.М., Стрекалов А.В., Лопатин Р.Р., Трушников Д.Н. Использование расчетного ядра Gasnet-β на примере цифрового двойника Берегового месторождения в системе Gasnet Sirius // Нефтяное хозяйство. – 2021. – № 8. – С. 72-75.
5. Войтенков Е.В. Опыт разработки и внедрения на базе ПО «АЭРОСИМ» цифровых двойников на объекте добычи газа и конденсата на примере Добринского месторождения // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. – 2025. – Т. 10, № 1. – С. 47-50.
6. Крючков А.В. Трудности, возникающие на объектах топливно-энергетического комплекса при использовании технических средств для работы цифровых двойников в ходе импортозамещения // Автоматизация и информатизация ТЭК. – 2024. – № 4 (609). – С. 13-20.
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 12.03.2024 г. № 581-р // Правительство России. – URL: <http://government.ru/docs/all/152545/> (дата обращения: 24.04.2026).
8. Куклина Е.А., Дементьев К.И. ESdiGital-трансформация предприятий нефтегазового сектора как фактор изменения бизнес-моделей и инструмент модернизации экономики современной России // Проблемы экономики и управления нефтегазовым комплексом. – 2024. – № 2 (230). – С. 23-31

