ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: ШАГ К ОПТИМИЗАЦИИ ИЛИ ИЛЛЮЗИЯ ПРОГРЕССА?

С.А. Глобенко, *магистрант*
Научный руководитель: *Р.Ф. Добрянский, старший преподаватель*
Дальневосточный федеральный университет
(Россия, г. Владивосток)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-25-29

Аннотация. *Статья посвящена критическому анализу применения технологии цифровых двойников в нефтягазовой отрасли. Целью работы является оценка реальных преимуществ данной технологии в условиях сложных производственных процессов и высокой капиталоемкости нефтяных объектов. В ходе исследования рассматриваются как успешные кейсы внедрения цифровых двойников, так и существующие барьеры – технические, экономические и организационные. На основе анализа научных источников и отраслевых примеров сделан вывод о том, что технология обладает высоким потенциалом, однако ее применение требует определенной подготовки и стратегического подхода. Полученные результаты могут быть полезны для специалистов по цифровизации, управлению проектами и стратегическому планированию в нефтегазовой сфере.*

Ключевые слова: *цифровой двойник, нефтяная отрасль, производственная оптимизация, управление жизненным циклом, прогнозирование параметров.*

Нефтяная отрасль по-прежнему остаётся одной из базовых и наиболее капиталоёмких сфер мировой экономики. По данным Международного энергетического агентства, в 2023 году нефть обеспечивала около 31% мирового первичного энергопотребления, несмотря на активное развитие возобновляемых источников энергии [1]. Нефтегазовый комплекс включает в себя сложную многозвенную инфраструктуру, охватывающую разведку, добычу, транспортировку, переработку и сбыт углеводородов, что делает его крайне чувствительным к технологическим рискам и колебаниям спроса.

В условиях исчерпания легкодоступных месторождений, перехода к трудноизвлекаемым запасам, роста экологических требований и усложнения логистических схем на первый план выходит задача повышения эффективности и управляемости всех этапов производственного цикла. Современные вызовы вынуждают компании использовать новые инструменты для поддержки принятия решений, мониторинга производственных объектов и прогнозирования технических и экономических параметров.

Одним из таких инструментов становится технология цифрового двойника (digital twin) – динамической виртуальной модели физического объекта или системы, функционирующей на основе сбора, обработки и анализа данных в реальном времени. В отличие от традиционного инженерного моделирования, цифровой двойник обладает свойствами актуализации, интерактивности и обратной связи с реальным объектом. Он может использоваться как для оперативного контроля и диагностики, так и для имитационного прогнозирования поведения оборудования в различных сценариях.

Внедрение цифровых двойников в различных корпорациях технического плана способно обеспечить целый ряд эффектов: от оптимизации обслуживания и снижения аварийности до экономии ресурсов и продления срока службы оборудования. Например, исследование маркетингового агентства KtR показало, что применение цифровых двойников в компаниях достигает до 40%, а оценочная стоимость всех существующих и реализуемых цифровых двойников разного типа в сумме достигает 633,36 млрд руб. [2].

Однако массовое распространение данной технологии сдерживается рядом факторов: высокой стоимостью разработки, нехваткой квалифицированных специалистов, проблемами с интеграцией в устаревшую ИТ-

инфраструктуру и отсутствием нормативной базы.

Цифровой двойник (ЦД) представляет собой интеллектуальную виртуальную копию физического объекта, процесса или системы, размещённую в цифровом пространстве и постоянно обновляемую благодаря непрерывному потоку данных от датчиков, IoT-устройств, баз данных и иных источников. В отличие от традиционных 3D-моделей, которые выполняют роль статичных визуальных отображений, цифровой двойник является динамичной, адаптивной системой, способной не только отображать текущее состояние физического объекта, но и прогнозировать его поведение, а также оказывать влияние на управление реальным аналогом [3].

Основные компоненты цифрового двойника включают:

1. Реальный объект – физический элемент системы, будь то оборудование, технологический процесс или инфраструктура, например, нефтепровод или производственная установка.

2. Цифровая модель – набор вычислительных алгоритмов и симуляционных программ, которые воспроизводят поведение и свойства реального объекта в виртуальной среде.

3. Обратная связь – механизм постоянного обмена информацией между физическим и виртуальным компонентами, при котором данные с сенсоров поступают в цифровую модель, а на основе её анализа формируются команды для корректировки работы реального объекта.

Данная структура обеспечивает непрерывное и динамическое взаимодействие между физическим объектом и его цифровым аналогом, что позволяет реализовать эффективный мониторинг, анализ и управление процессами. На рисунке представлена общая концепция взаимодействия ключевых компонентов цифрового двойника.

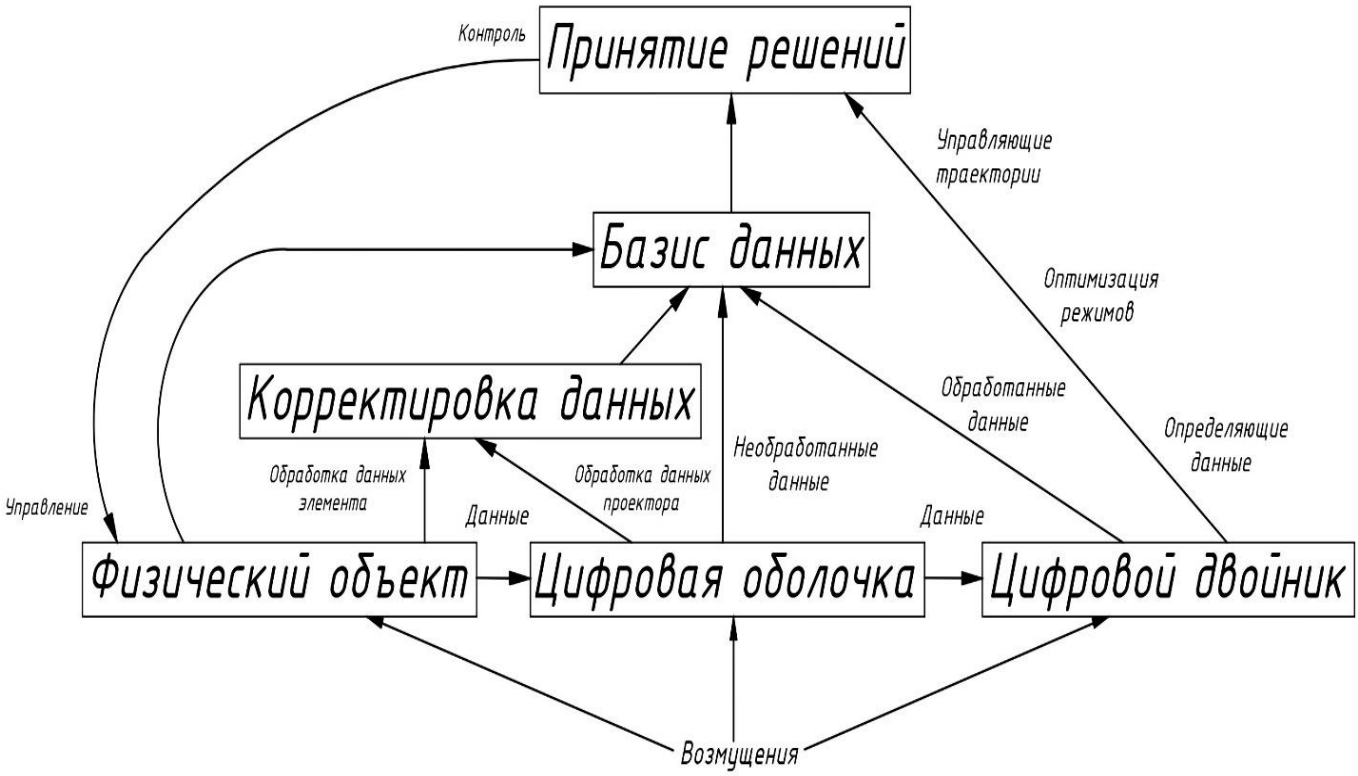

Рис. Схема взаимодействия виртуальной системы

Для более чёткого понимания особенностей цифрового двойника целесообразно сопоставить его с традиционной 3D-моделью. В таблице 1 представлены основные различия между этими двумя подходами к цифровому представлению физических объектов.

Таблица 1. Отличие цифрового двойника от 3D-модели

Критерий	3D-модель	Цифровой двойник
Данные	Статические, неизменные после создания	Динамические, обновляются в режиме реального времени
Обратная связь	Отсутствует	Влияет на физических объект через управляющие сигналы
Цель	Визуализация формы и структуры	Анализ, прогнозирование, оптимизация процессов
Используемые технологии	Графические редакторы (CAD, Blender)	Графические редакторы совместно с IoT:RPA:BigData и VR-технологиями
Область применения	Архитектура, дизайн, презентации	Промышленность в общем плане, энергетика, логистика, медицина
Интеграция с ИИ	Нет	Да (анализ данных, генерация прогнозов событий)
Пример	3D-модель здания для визуализации проекта	Модель нефтеперерабатывающего завода, прогнозирующая аварии

Цифровой двойник – это не статичная копия, а динамично развивающаяся система, которая развивается параллельно с физическим объектом [4]. Он не ограничивается простым отображением геометрии промышленного оборудования, а анализирует данные о вибрациях, температуре, нагрузках и т.д., позволяя:

- отслеживать текущее состояние, выявляя износ и отклонения в работе;
- прогнозировать различные сценарии, включая изменение режимов работы и возможные аварии;
- обеспечивать обратную связь, автоматически корректируя параметры оборудования или предлагая рекомендации операторам.

Таким образом, цифровой двойник становится ключевым инструментом для не только мониторинга, но и эффективной оптимизации производственных процессов.

Цифровые двойники классифицируются по степени детализации, этапам жизненного цикла объекта и масштабу охвата [5]. Каждый тип решает уникальные задачи, но все они объединены общей идеей синхронизации виртуальной модели с физическим миром.

Виды цифровых двойников:

- DTP (Digital Twin Prototype) – цифровой прототип, создаваемый на стадии проектирования. Используется для моделирования будущего объекта, тестирования конструктивных решений и оценки сценариев эксплуатации до начала производства.
- DTA (Digital Twin Instance) – экземпляр цифрового двойника, связанный с реально существующим объектом. Получает данные в реальном времени, отражает текущее состояние системы и помогает управлять ею, выявляя отклонения и прогнозируя неисправности.
- DTI (Digital Twin Aggregate) – агрегированный цифровой двойник, объединяющий несколько экземпляров (DTA) в единую модель целой производственной системы или предприятия. Применяется для комплексного анализа, оптимизации процессов и стратегического управления.

Далее в таблице 2 приведено сравнительное описание этих видов.

Таблица 2. Сравнение видов ЦД

Критерий	DTP	DTI	DTA
Стадия применения	Проектирование	Эксплуатация	Управление комплексом
Данные	Теоретические параметры	Реальные показатели с датчиков	Агрегированные данные от DTI
Главная цель	Оптимизация конструкции	Мониторинг и прогнозирование	Системная координация
Пример	3D-модель самолета Boeing	Двойник насоса нефтепровода	Умный город (Barcelona)

Реализация концепции цифрового двойника в промышленной среде уже вышла за рамки первопроходческого использования и активно применяется ведущими компаниями в нефтегазовой отрасли. Практические примеры демонстрируют широкий спектр задач, которые можно решать с помощью этой технологии [6]. Примеры внедрения этих технологий представлены ниже:

BP (British Petroleum). С 2017 года использует платформу APEX для моделирования производственных систем. В результате – рост добычи на 30 тыс. баррелей в год, сокращение времени создания моделей с 30 ча-

сов до 20 минут, контроль инфраструктуры в удалённых регионах.

- Equinor. Применяет цифровые двойники на месторождении Юхан Свердруп. Данные поступают в реальном времени и доступны через мобильные устройства. Это обеспечивает стабильную эксплуатацию оборудования и быструю реакцию на отклонения.

Газпром нефть. С начала 2000-х активно внедряет цифровые двойники – от моделей скважин и керна до цифровых НПЗ. В 2017 году в «Газпромнефть-Хантос» открыт Центр управления добычей (ЦУД), объединяющий ИИ-решения, которые анализируют данные с более 5 000 скважин и оптимизируют эксплуатацию в реальном времени. На этапе геологоразведки используется цифровой двойник D-Seis, интегрирующий данные более 80 проектов. В среднем в каждой дочерней компании применяется свыше 20 цифровых моделей. В 2020 году эффект от их использования превысил 2 млрд рублей, а в 2023 были цифровизированы с помощью цифровых двойников два крупных НПЗ.

Но и также, нужно не забывать, что внедрение цифровых двойников (ЦД) в нефтегазовой промышленности сопряжено с рядом технических, экономических и организационных вызовов, которые затрудняют их широкое распространение [7].

Основные препятствия:

1. Технические препятствия:

- интеграция с устаревшими системами: около 60% предприятий сталкиваются с проблемами совместимости данных из-за разнородных форматов и протоколов, что требует значительных усилий для стандартизации и синхронизациию;

- объем и качество данных: отрасль генерирует около 700 терабайт данных ежедневно, однако лишь около 5% используется эффективно в моделях ЦД, соответственно низкое качество данных будет равно низкой точности и надежности цифровых моделей;

- кибербезопасность: повышенная связность и обмен данными увеличивают риски кибератак.

2. Экономические ограничения:

- высокие первоначальные инвестиции: внедрение ЦД требует значительных капиталозатрат на оборудование, ПО и обучение персонала, и все это может обойтись в 4-8 млрд. руб.;

- долгий срок окупаемости: реальные выгоды от внедрения ЦД могут проявиться через несколько лет, что делает проекты менее привлекательными для компаний, ориентированных на краткосрочную прибыль.

3. Организационные и кадровые барьеры:

- недостаток квалифицированных сотрудников: эффективное использование ЦД требует специалистов, обладающих знаниями в области ИТ, инженерии и анализа данных. Однако в такой отрасли наблюдается как отток, так и дефицит кадров;

- сопротивление изменениям: внедрение новых технологий часто встречает сопротивление со стороны персонала, особенно в компаниях с устоявшимися традициями и процессами.

В заключении следует сказать, что цифровые двойники становятся важным инструментом цифровой трансформации нефтегазовой отрасли, способствуя повышению операционной эффективности, снижению простоев и улучшению управления рисками. Внедрение этих технологий позволяет предприятиям оптимизировать процессы добычи и переработки, улучшить мониторинг состояния оборудования и минимизировать аварийные ситуации.

В дальнейшем ожидается развитие алгоритмов совместной работы цифровых двойников и искусственного интеллекта с машинным обучением, расширение использования сенсорных технологий и интеграция с облачными платформами для более эффективного управления данными. Это создаст предпосылки для тесного сотрудничества нефтегазовых компаний с IT-сектором, что повысит уровень цифровой грамотности персонала и укрепит кибербезопасность.

В результате цифровые двойники будут способствовать не только росту производительности и экономической устойчивости отрасли, но и улучшению экологической безопасности и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Цифровая трансформация станет ключевым фактором развития нефтегазовой промышленности в XXI веке, формируя её новый облик и конкурентные преимущества на мировом рынке.

Библиографический список

1. World Energy Outlook 2023 // International Energy Agency (IEA). – 2023. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://iea.blob.core.windows.net/assets/86ede39e-4436-42d7-ba2a-edf61467e070/WorldEnergyOutlook2023.pdf.
2. Digital Twin Technology Market Research Report // Kenneth Research. – 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.kennethresearch.com/report-details/digital-twin-technology-market/10352490.
3. Tao F., Zhang H., Liu A., Nee A.Y.C. Digital Twin in Industry: State-of-the-Art // IEEE Transactions on Industrial Informatics. – 2019. – Vol. 15, № 4. – P. 2405-2415. – DOI: 10.1109/TII.2018.2873186.
4. Grieves M., Vickers J. Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. – Springer, Cham, 2017. – P. 85-113.
5. Габидуллин, И.Р. Применение цифровых двойников в нефтегазовой отрасли / И.Р. Габидуллин, С.Н. Федоров // Актуальные исследования. Нефтегазовая промышленность. – 2023. – Т. 25. – № 155.
6. Роль цифровых двойников в развитии нефтегазовой отрасли // РБК Тренды. – 2021. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://trends.rbc.ru/trends/industry/613895d29a79477154fec314.
7. Digital Twin in Oil & Gas Market is Poised to Reach USD 912.1 Million by 2032 // GlobeNewswire. – 2024. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.globenewswire.com/news-release/2024/4/2/2855968/0/en/Digital-Twin-in-Oil-Gas-Market-is-Poised-to-Reach-USD-912-1-Million-by-2032-Asset-Monitoring-and-Maintenance-Segment-Control-19-Revenue-Share-Says-Astute-Analytica.html?utm_source=chatgpt.com.

DIGITAL TWIN IN THE OIL INDUSTRY: A STEP TOWARD OPTIMIZATION OR AN ILLUSION OF PROGRESS?

S.A. Globenko, *Graduate Student*
Supervisor: *R.F. Dobryansky, Senior Lecturer*
Far Eastern Federal University
(Russia, Vladivostok)

Abstract. *This article presents a critical analysis of the implementation of digital twin technology in the oil industry. The aim is to assess the actual benefits of digital twins in the context of complex industrial processes and the capital-intensive nature of oil and gas infrastructure. The study explores both successful case studies and the current technical, economic, and organizational challenges hindering broader adoption. Based on a comprehensive review of scientific literature and industry practices, the article concludes that while digital twins hold significant potential, their effective use requires thorough preparation and a strategic integration approach. The findings may be of interest to professionals in digital transformation, project management, and strategic planning in the oil and gas sector.*

Keywords: *digital twin, oil industry, production optimization, lifecycle management, parameter prediction.*