

*Аруш Амин*

магистрант

Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли  
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого»  
г. Санкт-Петербург

## **ИНДУСТРИЯ 4.0 И 5.0, УМНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ИОТ, РОБОТИЗАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ЦЕХОВ**

***Аннотация:** в статье анализируется цифровая трансформация нефтегазового сектора России в контексте перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0. За 2021–2025 гг. доля компаний, внедривших цифровые двойники, выросла с 15% до 51%, автоматизация процессов – с 27% до 53%, операционные затраты снизились на 11%. Глобальные компании (Saudi Aramco, Shell, BP) сочетают технологии 4.0 и 5.0 (ИИ, коллаборативные роботы, блокчейн). Российские компании сосредоточены на инструментах 4.0, а Sonatrach – на начальном уровне. Для сокращения отставания необходимо ускорить внедрение ИИ и ESG-критериев.*

***Ключевые слова:** индустрия 4, индустрия 5, IoT, роботизация, автоматизация, цифровая трансформация, нефтегазовая отрасль, цифровые двойники, искусственный интеллект.*

*Введение.*

Актуальность темы. В эпоху глобальных экономических вызовов и технологического прорыва цифровая трансформация стала не просто модным трендом, а жизненной необходимостью для нефтегазовой отрасли. Россия, обладающая колоссальными запасами углеводородов, вынуждена оперативно адаптироваться к новым реалиям: истощение легкоизвлекаемых запасов, санкционное давление, необходимость повышения энергоэффективности и снижения экологической

нагрузки. В этом контексте формирование чёткой цифровой стратегии и грамотное управление трансформацией становятся ключевыми факторами выживания и развития нефтегазовых компаний.

Степень разработанности темы. Большинство работ фокусируется на отдельных технологиях, не предлагая целостной стратегии трансформации с учётом специфики сектора. Особенно мало исследований, посвящённых комплексному внедрению ИТ-решений на всех этапах производственного цикла – от геологоразведки до логистики.

Цель исследования – исследовать индустрию 4.0 и 5.0, умное производство IoT, цифровые двойники, предиктивное обслуживание, роботизация и автоматизация цехов в нефтегазовой отрасли.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи.

1. Проанализировать литературу и описать индустрию 4.0 и 5.0, умное производство IoT, роботизация и автоматизация цехов в нефтегазовой компании.
2. Описать методы и методологию исследования.
3. Сформулировать результаты исследования.
4. Подвести итоги по результатам исследования.

Объект исследования – нефтегазовые компании. Предмет исследования – механизмы разработки и внедрения цифровой стратегии, инструменты управления изменениями и формирования культуры инноваций в нефтегазовой отрасли.

Новизна работы заключается в создании интегрированной модели цифровой трансформации, учитывающей специфику нефтегазового сектора.

Гипотеза исследования: успешная цифровая трансформация нефтегазовой компании возможна при условии комплексного подхода, включающего стратегическое видение руководства, внедрение набора взаимосвязанных ИТ-решений, перестройку бизнес-процессов.

*Обзор литературы.*

В условиях дестабилизации мировой экономической системы и беспрецедентного санкционного давления российские предприятия сталкиваются с двой-

ственным эффектом: с одной стороны, усиливаются вызовы, требующие оперативной адаптации, с другой – формируются уникальные возможности для наращивания внутреннего потенциала и укрепления технологической независимости [1].

Ключевым ориентиром экономического развития страны выступает достижение технологического суверенитета, при котором приоритет отдаётся импортозамещающим производствам и собственным научно-техническим разработкам, обеспечивающим рост операционной эффективности промышленных компаний. В этих условиях проблематика цифровизации выходит на передний план, находя отражение в широко распространённой концепции Индустрии 4.0. Вместе с тем наблюдается эволюция данной парадигмы в направлении Индустрии 5.0, которая не ограничивается технологическим совершенствованием, но и интегрирует принципы устойчивого развития.

Индустрия 4.0 представляет собой четвёртый этап индустриальной эволюции, отличительной чертой которого выступает масштабная интеграция киберфизических систем (КФС) в управленческие и производственные процессы. КФС – это гибридные комплексы, сочетающие вычислительные и физические компоненты, которые непрерывно собирают данные из внешней среды и используют их для оптимизации бизнес-процессов. Такие системы формируют взаимосвязанную сетевую инфраструктуру, обеспечивающую обмен информацией в режиме реального времени, автономную самонастройку, а также способность к машинному самообучению и адаптации к изменяющимся условиям [2].

Результатом внедрения КФС становится повышение надёжности производственных цепочек, возможность интерактивного взаимодействия с выпускаемой продукцией, а также гибкая адаптация к запросам рынка – зачастую в полностью автоматизированном режиме, минимизирующем прямое участие человека.

Основу технологической платформы Индустрии 4.0 составляют облачные вычисления, обеспечивающие удалённый доступ к приложениям, данным и вычислительным ресурсам через глобальную сеть, и интернет вещей (IoT), который

опирается на облачную инфраструктуру для автоматизации и мониторинга физических объектов (например, систем удалённого управления освещением). В рамках Индустрии 4.0 эти технологии позволяют виртуализировать производственные процессы, централизуя управление оборудованием и ресурсами через облачные платформы – независимо от географического расположения управляющего субъекта [3].

Индустрия 5.0 представляет собой этап развития промышленности, в основе которого лежит плавная интеграция передовых технологий в производственные процессы – при этом акцент делается на гармоничном партнёрстве человека и машины. Ключевым драйвером прогресса выступает синтез искусственного интеллекта (ИИ) и цифровых технологий, способный трансформировать интеллектуальное производство.

В рамках Индустрии 5.0 человек и технологии выступают равноправными участниками производственного процесса: ИИ и подключённые устройства берут на себя рутинные задачи, анализируют массивы данных и оптимизируют процессы в режиме реального времени, тогда как человек фокусируется на творчестве, нестандартных решениях и контроле качества. Это позволяет добиться гибкости производства, сократить ошибки и быстрее адаптироваться к запросам рынка [4].

Исследователи по-разному интерпретируют возможности ИИ. Например, И.С. Соколов и А.А. Гальдин подчёркивают автономность ИИ, которая отличает его от человеческого мышления и открывает перспективы применения в различных сферах. А.В. Федотов характеризует ИИ как «сверхмашину», способную к самостоятельному развитию и принятию решений вне заданных правил.

Несмотря на то что исследования ИИ ведутся с 1970-х годов, всплеск интереса к нему со стороны предприятий и потребителей произошёл лишь в последние 10 лет. Это связано с поиском путей оптимизации бизнес-процессов и ростом инвестиций в ИИ-технологии, которые напрямую влияют на эффективность интеллектуального производства [5; 6].

Таким образом, Индустрия 5.0 выстраивает модель, где технологии усиливают человеческий потенциал, а не заменяют его, – и это становится залогом устойчивого развития и конкурентоспособности промышленных компаний.

*Методы и данные.*

В рамках данного исследования будет проанализирована индустрия 4.0 и 5.0, умное производство IoT, роботизация и автоматизация цехов в нефтегазовом комплексе.

Методы исследования: анализ научной литературы, сравнение, бенчмаркинг, SWOT-анализ.

Выборка: «Газпром нефть», Лукойл, Роснефть, Shell, BP, Saudi Aramco, Sonatrach.

*Результаты.*

Для оценки перспектив перехода нефтегазового сектора России к принципам Индустрии 5.0 был проведён ретроспективный анализ практик цифровизации, сформировавшихся в эпоху Индустрии 4.0. Отправной точкой масштабных преобразований стало утверждение в конце 2016 г. национальной программы «Цифровая экономика РФ» – она заложила институциональную основу для внедрения цифровых технологий в ключевых отраслях, включая нефтегазовую [7; 8].

В рамках исследования были выделены ключевые индикаторы цифровизации нефтегазового сектора. В таблице 1 ниже представлена динамика ключевых показателей внедрения цифровых технологий в крупнейших российских нефтегазовых компаниях за последние 5 лет (2021–2025 гг.).

Таблица 1

Динамика цифровизации в нефтегазовой отрасли РФ [9]

Показатель	2021	2022	2023	2024	2025
Совокупные инвестиции в цифровую трансформацию (млрд руб.)	125	147	172	210	245
Доля компаний, внедривших цифровые двойники (%)	15	23	31	42	51
Средний процент снижения операционных затрат благодаря цифровизации (%)	3	5	7	9	11
Сокращение сроков бурения скважин (в среднем, %)	5	8	10	13	15

Увеличение добычи нефти на цифровизированных месторождениях (%)	2	4	6	8	10
Уровень автоматизации производственных процессов (%)	27	33	39	46	53

На основе проведённого анализа динамики цифровизации в нефтегазовой отрасли РФ за 2021–2025 гг. можно сделать вывод, что сектор демонстрирует устойчивый и системный прогресс в освоении технологий Индустрии 4.0, который создаёт прочную технологическую основу для перехода к принципам Индустрии 5.0.

За исследуемый период наблюдается последовательный рост инвестиций в цифровую трансформацию, расширение масштабов внедрения передовых решений (в частности, цифровых двойников), а также прямая зависимость между уровнем цифровизации и эффективностью ключевых производственных показателей: сокращаются операционные затраты, ускоряются процессы бурения, растёт добыча нефти, повышается доля автоматизированных процессов.

Ведущие компании («Роснефть», «Лукойл», «Газпром нефть», «Татнефть») выступают драйверами цифровой трансформации, демонстрируя успешные кейсы оптимизации геологоразведки, снижения аварийности, сокращения сроков проектирования и ввода скважин, а также экономии ресурсов за счёт внедрения предиктивной аналитики, систем мониторинга и комплексных цифровых решений.

Таким образом, текущие тренды цифровизации не только укрепляют конкурентоспособность российского нефтегазового сектора, но и закладывают фундамент для перехода к Индустрии 5.0 – с акцентом на синергию человеческого интеллекта и искусственного интеллекта, повышение гибкости производства, устойчивое развитие и адаптивность к глобальным вызовам рынка.

Рассмотрим и сравним деятельность компании РФ и мира для перехода к Индустрии 5.0. На рисунке 1 приведена информация об инвестициях в цифровые технологии.

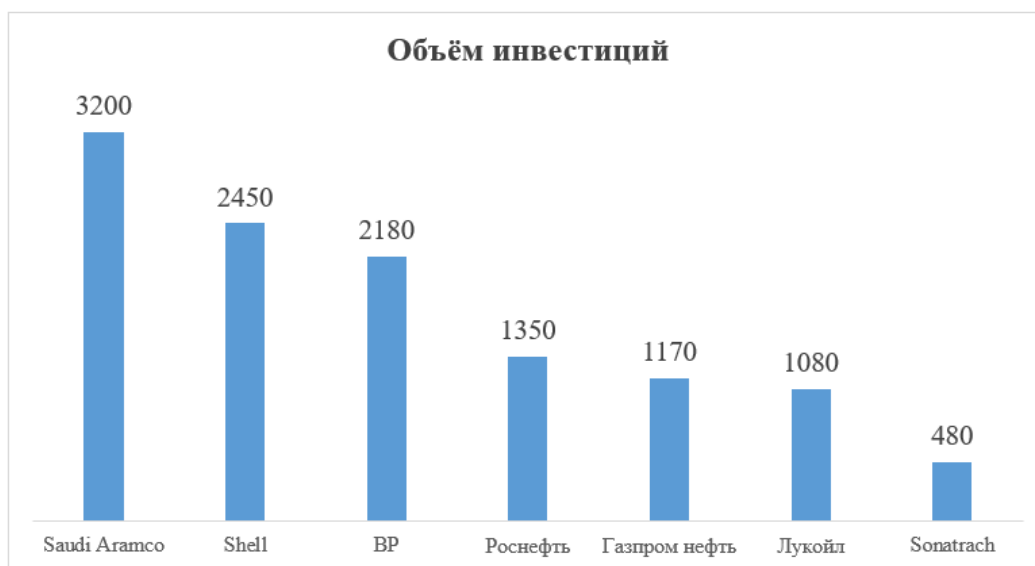


Рис. 1. Объем инвестиций в цифровые технологии

Анализ объёмов инвестиций демонстрирует явное технологическое лидерство глобальных компаний – Saudi Aramco и Shell, чьи вложения в цифровизацию почти вдвое превышают показатели российских игроков. Это связано с масштабными программами трансформации цепочек поставок, переходом к «зелёной» энергетике и необходимостью соответствовать ESG-стандартам. Российские компании («Роснефть», «Газпром нефть», «Лукойл») демонстрируют устойчивый рост вложений, сокращая разрыв с западными конкурентами, но пока не достигают уровня глобальных гигантов. Sonatrach существенно отстает, что ограничивает её возможности в адаптации к трендам Индустрии 5.0. В таблице 2 приведены ключевые проекты в сфере цифровизации.

Таблица 2

## Ключевые проекты в сфере цифровизации

Компания	Технология	Проект
Газпром нефть	IoT + ИИ	Умные месторождения (мониторинг скважин в реальном времени)
	Роботизация	Автономные инспекторы трубопроводов
Лукойл	Предиктивная аналитика	Система прогнозирования аварий
	Автоматизация	Роботизированные буровые установки
Роснефть	Цифровые двойники	Моделирование геологоразведки
	Облачные технологии	Единая платформа данных

Shell	Блокчейн + IoT	Умная цепочка поставок
	ИИ	Прогнозирование спроса
BP	Коллаборативные роботы	Совместная работа человека и роботов на НПЗ
	Большие данные	Оптимизация энергобаланса заводов
Saudi Aramco	ИИ + робототехника	Автоматизированные центры управления
	Умное производство	Цифровые фабрики
Sonatrach	IoT	Мониторинг скважин

Ключевые проекты отражают разнонаправленный подход компаний к цифровизации. Глобальные игроки (Shell, BP, Saudi Aramco) фокусируются на комплексных решениях, сочетающих ИИ, блокчейн, робототехнику и умное производство, что соответствует принципам Индустрии 5.0 – гибкости, устойчивости и синергии человека и машин. Российские компании акцентируют внимание на оптимизации добычи, автоматизации буровых процессов и моделировании (цифровые двойники, облачные платформы), что характерно для этапа Индустрии 4.0. Sonatrach ограничивается базовыми IoT-решениями, демонстрируя минимальный уровень технологической зрелости [10].

В таблице 3 приведены технологические приоритеты нефтегазовых компаний: Индустрия 4.0 vs 5.0.

Таблица 3

### Технологические приоритеты нефтегазовых компаний

Компания	Приоритеты Индустрии 4.0	Приоритеты Индустрии 5.0
Shell	Предиктивная аналитика, IoT	Блокчейн, коллаборативные роботы, устойчивость
BP	Большие данные, автоматизация	Коллаборативные системы, снижение углеродного следа
Saudi Aramco	Робототехника, цифровые двойники	Умное производство, ИИ-оптимизация
Газпром нефть	Цифровые двойники, IoT	Фрагментарные эксперименты с ИИ
Лукойл	Автоматизация, предиктивная аналитика	Нет явных инициатив 5.0
Роснефть	Облачные платформы, моделирование	Начальные шаги в коллаборативных системах
Sonatrach	Базовые IoT-решения	Не наблюдается

Сравнение приоритетов показывает чёткое разделение между глобальными лидерами и остальными игроками. Shell, BP и Saudi Aramco системно развивают как базовые технологии Индустрии 4.0 (IoT, автоматизация), так и продвинутое решения Индустрии 5.0 (коллаборативные системы, блокчейн, фокус на устойчивости). Российские компании сосредоточены на инструментах 4.0, связанных с оптимизацией и моделированием, тогда как инициативы 5.0 носят фрагментарный или экспериментальный характер. Sonatrach остаётся на начальном этапе, ограничиваясь базовыми цифровыми инструментами без признаков движения к более сложным парадигмам.

Таким образом, разрыв между глобальными и российскими компаниями сохраняется, хотя последние наращивают темпы цифровизации. Для сокращения отставания российским игрокам необходимо ускорить внедрение коллаборативных робототехнических систем, масштабировать ИИ-решения, интегрировать ESG-критерии в стратегии цифровизации и активнее перенимать опыт мировых лидеров через отраслевые партнёрства. Sonatrach требуется фундаментальная модернизация инфраструктуры с опорой на базовые, но масштабируемые IoT-решения.

#### *Обсуждение.*

Полученные в ходе исследования данные убедительно подтверждают выдвинутую гипотезу о том, что успешная цифровая трансформация нефтегазовой компании невозможна без комплексного подхода, объединяющего стратегическое видение руководства, внедрение взаимосвязанных ИТ-решений и глубокую перестройку бизнес-процессов. Анализ практики ведущих игроков отрасли демонстрирует чёткую дифференциацию стратегий: глобальные компании вроде Saudi Aramco, Shell и BP реализуют целостную модель, органично сочетая технологии Индустрии 4.0 – такие как IoT, автоматизация и работа с большими данными – с инновациями Индустрии 5.0, включая коллаборативных роботов, блокчейн-решения и инициативы по снижению углеродного следа. В то же время российские компании, несмотря на заметный прогресс в освоении технологий четвёртого индустриального этапа, пока не демонстрируют системного перехода к

парадигме 5.0 – их инициативы в этой области носят скорее экспериментальный характер и не интегрированы в единую стратегическую рамку. Особенно заметно отставание Sonatrach, которая ограничивается базовыми IoT-решениями без признаков системной цифровой трансформации.

Активное внедрение киберфизических систем, облачных технологий и IoT в российских компаниях наглядно демонстрирует реализацию концепции Индустрии 4.0 и ведёт к измеримому росту эффективности: снижению операционных затрат, ускорению бурения и увеличению добычи. Эволюция к модели Индустрии 5.0 отчётливо прослеживается у глобальных игроков, чей фокус на коллаборативных системах и устойчивости полностью соответствует описанной в литературе модели партнёрства человека и машины. Кроме того, ведущая роль искусственного интеллекта как драйвера трансформации находит прямое подтверждение в проектах Shell, BP и Saudi Aramco, что согласуется с оценками исследователей, характеризующих ИИ как инструмент, способный к автономным решениям и оптимизации сложных производственных процессов [11; 12].

Вместе с тем исследование не лишено определённых ограничений, накладывающих естественные рамки на интерпретацию полученных данных. Прежде всего, часть информации о проектах и объёмах инвестиций носит закрытый характер, что вынудило нас прибегать к оценочным показателям и экспертным прогнозам. Временной горизонт анализа (2021–2025 гг.) не позволяет в полной мере оценить долгосрочные эффекты цифровой трансформации, а различия в отчётности компаний – например, в подходах к расчёту доли автоматизации – могли повлиять на точность сопоставления отдельных показателей. Региональная специфика, связанная с санкционными ограничениями и курсом на импортозамещение в РФ, также усложняет прямое сравнение стратегий российских и зарубежных компаний. Наконец, фокус на крупных игроках не даёт представления о практике цифровизации средних и малых предприятий, которые могут демонстрировать иные модели адаптации к технологическим вызовам.

Перспективы дальнейшего изучения проблемы лежат в нескольких взаимосвязанных плоскостях. Во-первых, требуется разработка интегрированной модели цифровой трансформации для нефтегазового сектора, учитывающей поэтапный переход от Индустрии 4.0 к 5.0, специфику производственных циклов и требования ESG-стандартов. Во-вторых, необходим углублённый анализ экономических эффектов от внедрения конкретных технологий – цифровых двойников, коллаборативных роботов или систем предиктивной аналитики – на основе детальных данных отдельных компаний. Не менее важным представляется исследование человеческого фактора: оценка готовности персонала к работе в гибридных системах и разработка программ переподготовки кадров, способных эффективно взаимодействовать с ИИ-решениями. Кроме того, перспективным направлением остаётся сравнительный анализ региональных стратегий цифровизации с учётом санкционных режимов и экологических требований, а также создание универсальной методологии бенчмаркинга, позволяющей объективно сравнивать уровень цифровой зрелости компаний независимо от их масштаба и географического положения.

Таким образом, проведённое исследование не только подтвердило актуальность комплексного подхода к цифровой трансформации в нефтегазовом секторе, но и выявило ключевые разрывы между российскими и глобальными игроками, обозначив при этом конкретные направления для углублённого изучения проблемы. Дальнейшая работа должна быть сосредоточена на создании адаптивных моделей внедрения технологий, которые смогут учитывать как отраслевую специфику, так и внешние вызовы, формируя устойчивую основу для конкурентоспособности отрасли в долгосрочной перспективе.

#### *Заключение.*

По итогам проведённого исследования можно сформулировать следующие ключевые выводы, отражающие вклад автора и практическую значимость работы.

Во-первых, доказано, что успешная цифровая трансформация в нефтегазовом секторе невозможна без комплексного подхода, объединяющего стратегическое видение руководства, внедрение взаимосвязанных ИТ-решений и перестройку бизнес-процессов – это не просто теоретическая гипотеза, а подтверждённая практикой закономерность.

Во-вторых, выявлена существенная дифференциация стратегий цифровизации: глобальные компании (Saudi Aramco, Shell, BP) уже системно сочетают технологии Индустрии 4.0 и 5.0, тогда как российские игроки сосредоточены преимущественно на инструментах четвёртого этапа, а Sonatrach остаётся на начальном уровне цифровой зрелости.

В-третьих, анализ динамики показателей цифровизации в РФ (2021–2025 гг.) продемонстрировал устойчивую положительную тенденцию – рост инвестиций, расширение внедрения цифровых двойников, снижение операционных затрат и другие эффекты, – что подтверждает эффективность институциональной основы, заложенной программой «Цифровая экономика РФ».

В-четвёртых, установлены конкретные разрывы между российскими и зарубежными компаниями, включая отставание по объёмам инвестиций и глубине интеграции передовых технологий, что позволяет чётко определить приоритеты для сокращения технологического отставания.

Таким образом, проведённое исследование не только выявило ключевые закономерности цифровой трансформации нефтегазового сектора, но и обозначило чёткий вектор дальнейшего развития отрасли в России.

### ***Список литературы***

1. Дашков А.А. Исследование влияния искусственного интеллекта на бизнес-модель организации / А.А. Дашков, Ю.О. Нестерова // E-Management. – 2022. – №4. – С. 26–36.

2. Ефимова С.А. Развитие искусственного интеллекта / С.А. Ефимова // Цифровая наука. – 2021. – №6. – С. 49–58.

3. Мустафина А.Ф. Технология искусственного интеллекта в контексте бизнес-среды / А.Ф. Мустафина // Стратегии бизнеса. – 2022. – №7. – С. 8–14.
4. Соколов И.С. Практическое применение искусственного интеллекта в условиях цифровой экономики / И.С. Соколов, А.А. Гальдин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2023. – №2. – С. 71–79.
5. Тарасов И.В. Индустрия 4.0: понятие, концепции, тенденции развития / И.В. Тарасов // Стратегии бизнеса. – 2021. – №6. – С. 59.
6. Федотов А.В. Искусственный интеллект как фокус развития цифровой экономики: теоретические и практические аспекты / А.В. Федотов // Московский экономический журнал. – 2021. – №6. – С. 476–487.
7. Фомина А.В. Индустрия 4.0. Основные понятия, преимущества и проблемы / А.В. Фомина, К.Ю. Мухин // Экономический вектор. – 2023. – №3. – С. 34–36.
8. Ценжарик М.К. Цифровая трансформация компаний: стратегический анализ, факторы влияния и модели / М.К. Ценжарик, Ю.В. Крылова, В.И. Стещенко // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. – 2021. – №3. – С. 390–420.
9. Artificial intelligence and smart vision for building and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications / S.K. Baduge [et al.] // Autom Constr. – 2022. – No. 141.
10. Current development on the Operator 4.0 and transition towards the Operator 5.0: A systematic literature review in light of Industry 5.0 / B. Gladysz, T. anh Tran, D. Romero [et al.] // J Manuf Syst. – 2023. – No. 70. – P. 160–185. DOI 10.1016/j.jmsy.2023.07.008. EDN ZEFVAVN
11. Industry 5.0: Prospect and retrospect / J. Leng [et al.] // J Manuf Syst. – 2022. – No. 65. – P. 279–295. DOI 10.1016/j.jmsy.2022.09.017. EDN BFRRNO
12. Deep reinforcement learning in smart manufacturing: A review and prospects / C. Li, Y. Zheng, Y. Yin, B. Wang, L. Wang // CIRP J Manuf Sci Technol. – 2023. – No. 40. – P. 75–101.