



Научная статья

## Разработка новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере

А.Е.ЧЕРЕПОВИЦЫН, Н.А.ТРЕТЬЯКОВ 

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

**Как цитировать эту статью:** Череповицын А.Е., Третьяков Н.А. Разработка новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере // Записки Горного института. 2023. Т. 262. С. 628-642. EDN QYBHMС

**Аннотация.** Цифровая трансформация является одним из мировых трендов, охвативших большинство отраслей экономики и промышленности. Для нефтегазовых компаний внедрение цифровых технологий стало не просто тенденцией, а одним из факторов обеспечения конкурентоспособности и удержания устойчивых позиций на рынке в стремительно меняющихся условиях макроокружения. При этом цифровая трансформация, несмотря на достигаемые положительные эффекты, является сложным процессом с позиции реализации и сопряжен с высокими технологическими и финансово-экономическими рисками. Цель работы состоит в разработке и апробации новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере. Методология исследования включает применение кривой Гартнера, методов экспертных оценок и инструментов оценки экономической эффективности инвестиционных проектов. Разработанная система оценки основана на комплексном учете четырех составляющих: уровня цифровой зрелости компании; соответствия внедряемой технологии целям и задачам организации; уровня надежности внедряемой технологии; уровня инновационности внедряемого проекта. Особое внимание уделено практической апробации предложенной методики на основе оценки цифрового проекта, реализуемого российской нефтегазовой компанией.

**Ключевые слова:** цифровая трансформация; нефтегазовый сектор; инновации; критерии применимости проекта; цифровые технологии; месторождения нефти и газа

Поступила: 07.04.2022

Принята: 03.04.2023

Онлайн: 18.07.2023

Опубликована: 28.08.2023

**Введение.** Развитие нефтегазового сектора связано с целым рядом сдерживающих факторов [1, 2]. Нефтегазовая промышленность не может в полной мере полагаться на устойчивость рынков и цен, которые за десятилетие демонстрировали высокую степень волатильности. Одним из важных факторов, предопределивших стагнацию на мировых рынках, включая нефтегазовый сектор, стали последствия COVID-19 [1, 3]. Считается, что дальнейший спад на нефтегазовом рынке будет поддерживать давление на рыночную стоимость углеводородов и побудит энергетические компании сильнее сосредоточиться на реформировании их портфеля проектов и активов [4]. Большинство отраслевых экспертов заявляют, что время «простой» нефти закончилось.

Почти половина нефти (~43 %) извлекается из месторождений, находящихся в состоянии эксплуатации уже более 25 лет<sup>1</sup>. Экономическая ситуация на рынке углеводородов и увеличение затрат при разработке новых активов сменили ориентацию нефтегазодобывающих компаний с разработки новых месторождений на максимальную оптимизацию эксплуатации уже разработанных активов. Директор компании ConocoPhillips Р.М.Лэнс очень точно охарактеризовал текущую ситуацию, отметив, что «низкая капиталоемкость является лучшим другом финансового директора»<sup>2</sup>.

Еще одна проблема состоит в том, что традиционные запасы углеводородов постепенно истощаются. Ввиду чего особую актуальность приобретает освоение нетрадиционных запасов, а также

<sup>1</sup> BP. The Energy Outlook 2020 Edition. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (дата обращения 04.03.2022).

<sup>2</sup> Phillips C. Goldman Sachs Energy Conference. URL: <https://static.conocophillips.com/files/resources/goldman-sachs-deck-final-1-5-2017-2.pdf> (дата обращения 10.02.2022).



ресурсного потенциала Арктических нефтегазовых месторождений (включая шельфовые запасы) [4-7]. Эффективное освоение месторождений с нетрадиционными запасами требует особых подходов и обуславливает актуальность внедрения цифровых технологий [8, 9].

С каждым годом перед отраслью будет вставать все больше вызовов, связанных с физико-химическими свойствами нефти, фильтрационно-емкостными параметрами коллекторов, сложными природными условиями, нехваткой кадров и компетенций и строгими экологическими нормами [10-12]. Единственный путь погасить разрыв между эпохой расцвета нефтегазовой отрасли и тем, что индустрия имеет сейчас, – это повышать эффективность всех бизнес-процессов, «борясь за каждую каплю нефти». И только комплексная цифровая трансформация компаний индустрии сможет ответить этому запросу [8, 13, 14].

Прогноз, опубликованный IDC, говорит о том, что объемы инвестиций в цифровые проекты каждый год будут демонстрировать постепенный рост<sup>3</sup>. Доля инвестиций нефтегазовых компаний в проекты по цифровизации варьируется в пределах 25-40 % в зависимости от реализуемых стратегий, что позволяет сделать вывод об их заинтересованности в создании современных, высокотехнологичных производств [15]. Согласно прогнозу Technology Outlook – BP (2018), технологическое развитие и внедрение цифровых технологий позволят к 2050 г. снизить себестоимость добычи более чем на 30 % и увеличить объемы извлекаемых запасов нефти в мире [16].

Преимущества использования цифровых технологий охватывают совокупность экономических, технологических, экологических и управлеченческих аспектов [17-20]. Новые технологии могут быть успешными или провальными. Внедрение новой технологии, как правило, требует осуществления множества pilotных проектов, и даже это не гарантирует успех. Учитывая степень капиталоемкости предприятий нефтегазовой отрасли, остро стоит вопрос совмещения принципа быстрого прототипирования и сохранения максимальной устойчивости производственных показателей, а также состояния компании в целом [21]. Но основная проблема заключается в том, что большинство компаний не реализует комплексный подход к цифровизации: зачастую цифровые решения используются для укрепления слабых мест, в маркетинговых целях или локально и по запросу от производственных подразделений. Этот подход неверен и противоречит самому смыслу использования цифровых технологий. В данном случае компаниям может помочь подробная и четко сформированная дорожная карта по проведению цифровой трансформации бизнеса [22].

Результатом разрозненного подхода по отношению к обмену информацией становятся петabytes данных, которые генерируются буровыми платформами либо используются неэффективно, либо не используются вовсе, что является негативным аспектом как с точки зрения общей цифровизации сектора, так и формирования большого объема упущенных выгод. Анализ 5000 тематических статей из пяти крупнейших нефтегазовых журналов, проведенный компанией Deloitte, подтверждает перенасыщение рынка наименованиями новых технологий и то, что большинство новых технологий не достигают этапа своего промышленного применения, затухая в самом начале пути – это касается целых типов технологий, а не отдельных цифровых инициатив<sup>4</sup>. В связи с этим перед менеджментом нефтегазовых компаний встает серьезная задача отбора цифровых проектов, основанного на комплексных системах оценки.

Цель исследования состоит в разработке новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере. Для достижения цели работы необходимо ответить на ряд исследовательских вопросов: Почему цифровая трансформация важна для нефтегазового комплекса, а данный процесс сопряжен с высокими рисками? Какие методы можно использовать для оценки проектов, направленных на внедрение цифровых технологий в деятельность компаний? Как оценить применимость цифровых проектов в нефтегазовом секторе? Какие показатели и методы следует использовать?

<sup>3</sup> IDC, Why Your Organization Should Create a Digital Innovation Graph. URL: <https://www.idc.com/promo/thirdplatform/RESOURCES/ATTACHMENTS/idc-dx-graph-ebook.pdf> (дата обращения 04.03.2022).

<sup>4</sup> Deloitte. From bytes to barrels. URL: <https://www.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-online-from-bytes-to-barrels.pdf> (дата обращения 10.02.2022).



Рис.1. Общий алгоритм проведения исследования

**Методология.** Основу исследования составляет информационно-аналитический базис. Для получения релевантной информации о ключевых трендах цифровой трансформации и текущем состоянии нефтегазового сектора проведен контент-анализ не только академической литературы, но и отраслевых международных и национальных отчетов.

Результатом исследования стал вывод о почти полном отсутствии научных изысканий на тему оценки цифровых проектов в нефтегазовой сфере. В связи с этим представляется целесообразным сформировать инструмент, который позволит учесть критерии, значимые для цифровых проектов в нефтегазовой сфере или недостаточно использующиеся в классических методиках отбора проектов. На рис.1 представлен базовый алгоритм исследования.

Цифровая трансформация представляет собой процесс интеграции цифровых

технологий в бизнес-процессы, который постепенно проникает во все сферы деятельности, и нефтегазовый сектор не является исключением [7, 20, 23, 24].

В своем исследовании S.Whitfield поднимает обоснованный вопрос: «Цифровая трансформация: огромный риск или широкие возможности?»<sup>5</sup>. Данный тезис фактически отражает противоречивость исследуемой тематики. С одной стороны, нефтегазовые компании вынуждены адаптироваться к постоянно меняющимся условиям макроокружения, повышать эффективность и сохранять устойчивую позицию на рынке. С другой – сам процесс цифровой трансформации сопряжен с высокими рисками и повышенной степенью неопределенности.

Энергетические компании сталкиваются со значительным числом различных проблем и угроз, как внутренних, так и внешних (рис.2). Для их эффективного преодоления требуется внедрение принципиально новых подходов к организации производственных процессов и принятию управленческих решений. Все это актуализирует необходимость внедрения цифровых технологий и решений [11, 25-27].

Использование цифровых технологий позволяет сократить затраты и повысить уровень производительности<sup>6</sup>, что не раз доказано на примере зарубежных компаний. Например, использование технологии «месторождение будущего» (Field of the Future) позволило компании BP увеличить объемы производства на 1-2 % [15]. Австралийская нефтегазовая компания Woodside смогла повысить уровень производительности на 10-15 % за счет внедрения прогрессивных цифровых технологий в производственный процесс [28]. Также опыт нефтегазовых компаний свидетельствует о возможности повышения экономической эффективности деятельности за счет цифровизации и интеллектуализации. Например, компания Halliburton достигла снижения показателя CAPEX на 20 % за счет внедрения современного технологического комплекса Real time operation.

Цифровые технологии используются и в деятельности крупнейших отечественных нефтегазовых компаний, однако по уровню цифровой зрелости страна все же отстает от международных

<sup>5</sup> Whitfield S. The Digital Transformation: Great Risk or Greater Opportunity? URL: <https://jpt.spe.org/digital-transformation-great-risk-or-greater-opportunity> (дата обращения 25.03.2022).

<sup>6</sup> The #1 Key to Successful Digital Transformation in Oil & Gas. Vista projects. Vista Projects Integrated Engineering Consulting. URL: <https://www.vistaprojects.com/blog/digital-transformation-in-oil-gas/#:~:text=Digital%20transformation%20in%20oil%20%26%20gas%20is%20the%20embracing%20of%20technology,efficiency%2C%20and%20increased%20cost%20savings> (дата обращения 20.03.2022).



Рис.2. Ключевые вызовы для нефтегазовых компаний

партнеров, что неоднократно отмечалось Министерством природных ресурсов и экологии РФ. Национальная компания «Роснефть» оценивает текущий уровень развития и внедрения цифровых решений в производственно-технологическую деятельность как низкий. При этом цифровизация определена компанией как один из главных приоритетов будущего развития бизнеса<sup>7</sup>.

В работе [29] установлено, что, несмотря на все трудности цифровой трансформации, реализация данного процесса является оправданной. Авторы утверждают, что внедрение цифровых технологий открывает новые возможности не только в сегменте upstream, но и downstream. Они позволяют сокращать временные затраты, связанные с обработкой информации на этапах проведения геологоразведочных работ (ГРР), более чем на 50-60 %. Внедрение таких технологий позволяет снизить затраты на 20-30 % и повысить продуктивность до 5 % непосредственно на стадиях реализации проектов [29].

Размер возможных экономических эффектов цифровой трансформации вызывает все большую заинтересованность со стороны бизнеса. Цифровая трансформация в отрасли может принести пользу на сумму около 640 млрд дол.: ~170 млрд дол. США за счет экономии ресурсов, ~10 млрд дол. США – повышения производительности, 30 млрд дол. США – сокращения потребления воды, 430 млрд дол. США – сокращения выбросов<sup>8, 9</sup>. Также использование цифровых технологий может привести к получению климатических эффектов и возможности снижения суммарных выбросов CO<sub>2</sub> более чем на 1300 млн т, экономии расхода водных ресурсов на 3 млрд л, предотвращению разливов нефти [5, 30].

Нельзя отрицать, что цифровая трансформация является сложным процессом. Отраслевые компании относят данный процесс к комплексу высокорискованных мероприятий. Согласно исследованию, проведенному Deloitte, перечень наиболее распространенных рисков, выделяемых компаниями в рамках тематики внедрения цифровых технологий, включает в себя: опасения по

<sup>7</sup> «Роснефть». Стратегия компании. Приоритет цифровизации и технологий. URL: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2020/ru/strategy/digitaltransformation-technology.html> (дата обращения 16.08.2022).

<sup>8</sup> Randall T. The World Nears Peak Fossil Fuels for Electricity. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2016-06-13/we-ve-almost-reachedpeak-fossil-fuels-for-electricity> (дата обращения 19.09.2021).

<sup>9</sup> International Renewable Energy Agency (IRENA), The Power to Change: Solar and Wind Cost Reduction Potential to 2025, June 2016. URL: [http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA\\_Power\\_to\\_Change\\_2016.pdf](http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Power_to_Change_2016.pdf) (дата обращения 16.03.2022).

повору конфиденциальности данных; отсутствие стандартизации информационных данных и процессов; сложность интеграции технологических и управленческих решений; нехватка квалифицированного персонала [31]. Перечисленные факторы усложняют процесс принятия управленческих решений<sup>10</sup>.

Для выбора правильной стратегии в сфере цифровизации компаниям необходимо принимать комплексные инвестиционные решения. Любые вложения в цифровые технологии должны быть обоснованы. Для этого требуются особые подходы, позволяющие оценить проекты и технологии, принимая во внимание не только потенциальные преимущества, но и недостатки. В академической литературе практически не отражены комплексные подходы к оценке применимости новых технологий (цифровых). Для устранения сформировавшегося пробела целесообразно предложить комплексный подход к решению обозначенной задачи, что обуславливает актуальность и значимость проводимого исследования.

*Подходы к оценке цифровых проектов.* С целью проведения комплексной оценки проекта необходимы технологические расчеты [32]. Для отображения на примере цепочки взаимосвязей реализованных проектов, вызванных ими изменений бизнес-процессов, а также возникающих экономических эффектов, при поддержке отраслевых экспертов сформирован перечень соответствующих примеров (табл.1).

Таблица 1

Технологические и экономические эффекты внедрения цифровых технологий [12, 18, 32]

Проект	Изменения в бизнес-процессах	Возможные экономические эффекты (включая предотвращенные ущербы)
Создание системы идентификации бурильных труб	Снижение количества аварий, вызванных обрывом бурильных труб, и дней простоя	Для оценки экономического эффекта (ЭЭ) необходимо рассчитать убытки за один день простоя процесса бурения скважины, оценить издержки, связанные с ликвидацией аварии, и спрогнозировать процент аварий, которых удастся избежать за счет внедрения проекта: $\text{ЭЭ} = (\text{количество дней простоя, которого удалось избежать}) \times (\text{стоимость дня простоя}) + (\text{издержки на ликвидацию аварии})$
Внедрение системы интеллектуальной интерпретации данных сейморазведки	Снижение необходимого времени протекания бизнес-процесса интерпретации данных сейморазведки	За счет того, что функцию интерпретации данных сейморазведки на себя берет информационная система, менеджмент организации может сократить количество специалистов данного профиля, сэкономив этим на фонде оплаты труда. Также ускорение данного процесса увеличивает прохождение всего цикла подготовки к разработке месторождения (участка), что влечет за собой экономический эффект, который увеличивает скорость разработки проекта, более быстрый выход на проектную мощность, что позволит снизить сроки возврата инвестиций
Имплементация предиктивной аналитики в процесс бурения	Автоматическое изменение осевой нагрузки на долото, угла наклона и прочих параметров бурения в режиме реального времени на основании оценки и анализа множества внешних факторов	За счет использования максимального потенциала буровых установок и особенностей забуриваемых пород значительно уменьшится время проходки, износ долота, количество аварий, отказов и операций, выполненных не в полном соответствии с техническим заданием. Как следствие, значительно снизится стоимость бурения и возрастет качество проводимых работ. Для оценки экономического эффекта необходимо проанализировать технологические параметры, заявленные подрядчиком, оценить их в стоимостном выражении и сравнить с полной стоимостью работы, выполненной без использования технологии

Все выгоды от внедрения цифровых технологий в деятельность нефтегазовых компаний можно отразить через ряд основных критериев, которые влияют на бизнес-процессы (рис.3).

При этом экономическая эффективность – не единственный параметр, который важно учитывать. На основе систематизации данных об используемых зарубежными и российскими компаниями методик оценки цифровых проектов, а также с учетом особенностей цифровых решений в нефтегазовом секторе, сформирован перечень параметров, которые могли бы способствовать повышению эффективности принятия управленческих решений: соответствие проекта целям

<sup>10</sup> Accelerating digital transformation in oil and gas. URL: [https://www.publicissapient.com/content/dam/ps-rebrand/insights/2022/research-center/pdf/PS\\_Accelerating\\_Digital\\_Transformation\\_Oil\\_and\\_Gas.pdf](https://www.publicissapient.com/content/dam/ps-rebrand/insights/2022/research-center/pdf/PS_Accelerating_Digital_Transformation_Oil_and_Gas.pdf) (дата обращения 14.03.2022).



Рис.3. Цепочка измерения влияния изменения бизнес-процессов на NPV-проект по нефтегазодобывче

и задачам компании; цифровая зрелость компании; степень надежности и инновационности внедряемых технологий.

Первый параметр отражает базовую возможность реализации проектов, второй – уровень готовности компаний к осуществлению цифрового проекта, третий – ценность технологии. Таким образом, происходит переход от стратегического до операционного уровня управления компанией. Параметры дополняют другу друга и позволяют сформировать целостную картину не только о самих технологиях, но и том, как они могут использоваться компанией и насколько эффект от их применения будет соответствовать направлениям деятельности компании. При этом для перехода к количественной оценке важно определить методы и подходы к ее осуществлению.

*Оценка соответствия проекта целям и задачам компании* является одним из важнейших этапов принятия управленческого решения. Проект не должен противоречить заявленным целевым приоритетам, иначе его реализация приведет не к положительным результатам (ожидаемым), а вызовет совокупность отрицательных последствий.

Менеджмент компаний должен определить цели каждой бизнес-единицы и выделить ключевые показатели эффективности для контроля за исполнением каждой поставленной цели, а также выявления связей между ними [33-37].

Внедрение какого-либо цифрового проекта является инструментом для воздействия на ряд показателей, увязанных со стратегическими целями компании, а значит и успешность реализации цифрового проекта зависит от изменения этих показателей до желаемого уровня [38]. Главная сложность этой методологии – трудоемкий процесс отбора репрезентативных показателей, которые поддаются измерению и демонстрируют достижение заданных целей.

Для использования данной модели в дальнейших расчетах итогового показателя, разработка которого является основной целью работы, необходимо найти пути оцифровки результатов его применения. Для этого в рамках применения предлагаемой системы оценки организации необходимо создать типовую таблицу своих целей и задач (пример в табл.2).

Чтобы получить показатель  $C_g$ , необходимый для проведения комплексной многопараметрической оценки, можно воспользоваться формулой

$$C_g = \frac{V_f}{V_g},$$

если цель – увеличить определенный показатель; если цель состоит в снижении фактического значения показателя, то используется формула



$$C_g = \frac{V_g}{V_f},$$

где  $C_g$  – коэффициент соответствия целям и задачам организации;  $V_f$  – прогнозное значение показателя, отражающего достижение поставленной цели или задачи, который будет достигнут в случае реализации цифрового проекта;  $V_g$  – целевое значение показателя, отражающего достижение поставленной цели или задачи.

Таблица 2

## Оценка соответствия внедряемого проекта целям и задачам компании

Цель	Показатель	Фактическое значение	Целевое значение	Прогнозируемое значение после внедрения проекта
Увеличение добычи	Годовая добыча нефти, млн т	32,5	36,7	34,2
Увеличение коэффициента извлечения нефти (КИН)	КИН, %	23,4	31	27,2
Снижение межремонтного периода работы скважин	Время простоя, сут	13	6	8
Снижение стоимости ГРР	Объем расходов на ГРР, млрд руб.	12,5	10	9

В отличие от оценки результативности проекта, основанной на действовании относительных показателей рентабельности, оценка соответствия проекта целям и задачам предполагает четкую взаимоувязку с утверждаемыми целевыми приоритетами и не может быть универсальной для всех компаний на уровне рассматриваемой в исследовании нефтегазовой отрасли.

*Оценка цифровой зрелости компании.* Важные факторы при оценке применимости цифрового проекта: уровень развития цифровой инфраструктуры компании; степень квалификации персонала в сфере новых технологий; состояние корпоративной культуры [34]. Организация вынуждена развиваться эволюционно и комплексно, иначе новые цифровые проекты, внедренные в деятельность компании, не смогут осуществляться эффективно (с достижением ожидаемых результатов). Должно происходить поступательное планомерное развитие аппаратного обеспечения бизнес-процессов, уровня компетенций сотрудников и адаптивности корпоративной культуры – только в этом случае компания сможет соответствовать современным вызовам рынка и планомерно внедрить элементы прогрессивной индустрии 4.0 [39-41].

Существуют различные методики, позволяющие оценить как степень цифровизации компаний, так и уровень ее компетенций при работе с конкретными и прикладными задачами по внедрению инновационных технологий. Каждая из методик имеет свои преимущества и недостатки.

Существует несколько наиболее востребованных моделей, позволяющих оценить цифровую зрелость организации, – это модели, разработанные компаниями Forrester, IDC и Erricson. Данные модели соответствуют стандартам CMMI и достаточно полно раскрывают суть цифровизации организации, а также рассматривают ее по всем основным направлениям: корпоративной культуре; менеджменту; бизнес-процессам; технологиям; обучению [42].

Методология Forrester размещена в открытом доступе<sup>11</sup>, поэтому возможна ее комплексная оценка. Методика оценки базируется на опроснике, который состоит из 28 вопросов по четырем ключевым направлениям и имеет четыре варианта ответа, поддающихся оцифровке: 0 – абсолютно не согласен; 1 – относительно не согласен; 2 – относительно согласен; 3 – полностью согласен. По результатам прохождения опроса экспертами организации сумма баллов по всем вопросам суммируется, и компания определяется в одну из четырех групп в соответствии с уровнем ее цифровой зрелости. Данная методология основана на использовании экспертного мнения, поэтому не является объективной. Для более точной оценки цифровой зрелости организации разработан чек-лист на основе ведущих методик, разделенный на три основных раздела: уровень технологической

<sup>11</sup> Forrester Research Inc, Model of assesstment of Digital Maturity. URL: <https://clck.ru/S4Adt> (дата обращения 19.03.2022).



оснащенности; квалификация персонала; структура бизнес-процессов. Каждый раздел имеет определенный набор вопросов и ответов, имеющих удельный вес в итоговой оценке уровня цифровой зрелости. Максимальное количество баллов – 100. Коэффициент цифровой зрелости определяется как деление полученного в результате заполнения чек-листа балла на 100. Алгоритм проведения оценки состоит из следующих этапов: сбор ключевых данных; проведение оценки по показателям, представленным в чек-листе; расчет суммарного балла; отнесение в одну из четырех групп по уровню цифровой зрелости (низкий, невысокий, средний, высокий). Методика, основанная на использовании чек-листа, качественно отличается от существующих инструментов на рынке тем, что все варианты ответа опираются на фактологическую базу и не зависят от экспертного мнения; проверяются исключительно факты, связанные с деятельностью организации в сфере цифровых технологий. Группы компаний по цифровой зрелости, сформированные по разработанной методике, представлены в табл.3.

Таблица 3

#### Классификация уровней цифровой зрелости

Уровень цифровой зрелости	Группа цифровой зрелости	Поведенческая характеристика	Суммарный балл
Высокий	Инноваторы	Демонстрируют превосходство на рынке	80-100
Средний	Продвинутые	Комплексные, но не инновационные действия	64-79
Невысокий	Испытатели	Ситуационное использование в операционной деятельности	42-63
Низкий	Скептики	Игнорирование цифровизации	0-41

Значение 100 свидетельствует о высоком уровне цифровой зрелости компании и наличии конкурентных преимуществ, связанных с процессом цифровизации. Если значение показателя варьируется в пределах 0-41, то это говорит о полном игнорировании компанией цифровизации и неготовности (инертности) к осуществлению цифровых проектов.

*Оценка инновационности и надежности технологии.* Следующий важный аспект – оценка степени инновационности и надежности внедряемой цифровой технологии. Для оценки актуальности внедряемых цифровых технологий предлагается использовать существующие и авторитетные системы отслеживания актуальных технологических трендов, одним из которых является кризисная компания Гартнер (Gartner). Это ведущая научно-исследовательская организация, деятельность которой направлена на изучение ситуации в сфере цифровых технологий. Наиболее известна введением в употребление понятия ERP (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) и регулярными исследовательскими отчетами в форматах «магический квадрант» и «цикл хайпа». Нуре cycle отражает степень актуальности технологий [43, 44]. Кривая Гартнера разделена на несколько зон: инновационных триггеров; пик завышенных ожиданий; впадина разочарования; склон просвещения; плато продуктивности. Также на данной кривой отражены современные технологии, отмеченные специальным символом, который означает прогнозное время достижения технологий достаточного уровня развития для повсеместного применения в хозяйственной деятельности организаций.

Для проведения комплексной многопараметрической оценки внедрим два коэффициента – надежности технологии и актуальности инновации. Диапазон измерений у каждого параметра лежит во множестве чисел от 0 до 1, где 0 в случае с коэффициентом надежности технологии означает полное отсутствие статистической информации и успешно реализованных проектов, основанных на данной технологии; 1 означает наличие у технологии кейса успешного промышленного применения во временном промежутке не менее года после прохождения ей границы «плато продуктивности». В случае с коэффициентом актуальности 1 означает присутствие технологии в зоне инновационных триггеров и положительно сказывается на общем значении итогового показателя, так как ранняя разработка перспективной технологии может обеспечить лидерство организации в данной сфере; 0 присваивается технологиям, получившим более современный заменитель на



рынке, позволивший изменить предыдущую бизнес-модель. Данные коэффициенты предлагается определять внутренним или внешним экспертам компании или опираясь на кривую Гартнера. Эталонные значения коэффициента актуальности: инновационный триггер – 1,0; пик завышенных ожиданий – 0,8; впадина разочарования – 0,6; склон просвещения – 0,4; плато продуктивности – 0,2; устаревание технологии – 0. Эталонные значения коэффициента надежности: полное отсутствие статистической информации – 0; создание минимально жизнеспособного продукта (MVP), основанного на технологии, – 0,2; обратная связь и статистические данные по первому использованию MVP, внесение соответствующих корректировок – 0,4; первый успешный опыт применения технологии в реальных бизнес-процессах компаний – 0,5; начало промышленного применения технологии – 0,7; начало промышленного использования крупными компаниями – 0,85; успешное промышленное применение на протяжении года после прохождения границы плато продуктивности – 1. Для устаревших технологий значение коэффициента будет приравнено к нулю, для наиболее актуальных и инновационных – к единице.

Данные оценки систематизированы по итогам проведенных опросов экспертов компаний «Газпром нефть», «Роснефть» и Deloitte.

Шкала для оценки коэффициента надежности имеет аналогичные значения. При полном отсутствии статистической информации коэффициент будет приравниваться к нулю. Если же технологии имеют опыт успешного промышленного использования, то коэффициент равен единице.

*Комплексная многопараметрическая оценка.* Для оценки эффективности и применимости цифровых проектов могут быть задействованы традиционные инвестиционные показатели (NPV, IRR, ROI, PI, DPP). Их использование позволяет сформировать основу для принятия результативного управленческого решения. Тем не менее цифровые технологии значительно отличаются от технологий Экономики 3.0, поэтому кроме классических методов инвестиционного анализа требуется применение особых инструментов, способных учесть специфику таких технологий и проектов. Для обеспечения комплексного подхода к оценке важно рассматривать готовность организации к внедрению инноваций, актуальность технологий, их надежность и пр.

Новизна методики состоит в интеграции наиболее значимых показателей в единую систему для обеспечения системного подхода к принятию управленческих решений относительно реализации цифровых инвестиционных проектов. Формируемая методика обеспечивает снижение уровня неопределенности и позволяет преодолеть пробелы, обусловленные отсутствием методов системной оценки цифровых проектов. Для решения данных задач предлагается использовать следующий показатель:

$$C_{int} = C_{dm} \leftarrow C_g \leftarrow C_{rel} \leftarrow C_r,$$

где  $C_{dm}$  – коэффициент цифровой зрелости организации;  $C_{rel}$  – коэффициент актуальности технологий;  $C_r$  – коэффициент надежности технологий.

В рамках исследования определенного множества проектов сделан вывод о том, что критическим значением, являющимся барьерным для принятия проекта, является 0. При данном значении итогового показателя внедрение проекта нецелесообразно. Рассмотрим показатель: он состоит из четырех множителей и принимает значение 0 в то время, когда в 0 обращается один из параметров, включенных в итоговый показатель комплексной многопараметрической оценки.

При  $C_{rel} = 0$  можно сделать вывод о том, что рассматриваемая технология имеет более эффективный аналог на рынке, интегрированный с подавляющим объемом имеющейся инфраструктуры. Примером может стать предложение о внедрении системы освещения, основанной на керосиновых лампах, при наличии LED-заменителей, опережающих данную технологию по всем технологическим и экономическим показателям. Когда коэффициент надежности технологии обращается в 0, целесообразно говорить о работе с проектом, основанным только на идее и не имеющим под собой достаточного массива практических испытаний. В связи с высокой ценой ошибки, которая присуща нефтегазовому комплексу, внедрение и использование подобных технологий является невозможным.



При  $C_g = 0$  внедряемая технология не решает задач и целей организации, не влияет на важные для нее технологические и экономические показатели, а сами предложения о внедрении подобной технологии вызваны сиюминутными эмоциональными всплесками, которые можно заметить в первой зоне кривой Гартнера. Когда значение  $C_{dm}$  тождественно 0, следует говорить о полной неготовности компаний внедрить в свою деятельность проект на основе цифровых технологий в следствии отсутствия необходимых технических условий, компетенций и наложенных бизнес-процессов. Таким образом, предложенный результирующий показатель  $C_{int}$  призван не заменить существующие методики оценки проектов, а пополнить перечень актуального инструментария, чем снизит степень неопределенности в рамках принятия управлеченческих решений по внедрению цифровых проектов. Его использование позволит повысить эффективность управлеченческих решений, связанных с внедрением цифровых технологий на уровне компаний нефтегазового сектора.

**Результаты.** Предложенная методология требует практической апробации. В ходе исследования рассмотрен частный случай внедрения цифровых технологий – протестированный в 2020 г. компанией «Газпром нефть» проект по внедрению учета состояния бурильных труб с использованием технологии BlockChain (блокчейн).

Суть проекта заключается в верификации истории бурового оборудования. Наработка бурильного инструмента не всегда достаточно контролируется, вследствие чего допустимый уровень наработки превышается, что приводит к авариям (в том числе со смертельными случаями) и продолжительным простоям. Реализация проекта направлена на учет наработки оборудования и контроль его инспекций для предупреждения аварий и вызванных ими последствий. Смысл состоит в нанесении специальных меток на бурильное оборудование, которые при считывании дают актуальную информацию о наработке инструмента. Обвязка проекта технологией блокчейн позволяет обеспечить прозрачность и неизменность данных.

Альтернатива подобной технологии заключается в проведении полной дефектоскопии бурильного оборудования, которая в среднем может занимать несколько суток, что недопустимо с учетом стоимости простоя буровой бригады.

*Оценка соответствия проекта целям и задачам компании.* В первую очередь необходимо понять, соответствует ли реализуемый проект целям и задачам компании. Для расчета коэффициента соответствия, входящего в итоговый показатель комплексной многопараметрической оценки, необходимо описать цели и задачи компании ПАО «Газпром нефть». Согласно разработанному подходу, реализация проекта должна соответствовать хотя бы одной цели либо задаче, установленной менеджментом компании. Если таких целей или задач несколько, то оценка проводится по показателю, на который реализация проекта оказывает наибольшее влияние. В данном случае подобным показателем является увеличение экономического эффекта за счет оптимизации процесса бурения:

$$C_g = \frac{118070}{50000} = 2,36.$$

Значение коэффициента выше единицы свидетельствует о соответствии цифрового проекта целям и задачам организации (табл.4).

Таблица 4

Цели и задачи ПАО «Газпром нефть» в разрезе оцениваемого проекта

Цель	Показатель	Фактическое значение	Целевое значение	Прогнозируемое значение после внедрения проекта
Снижение простоя прочих подрядчиков	Непроизводственное время, сут/год	279,62	220	128,42
Снижение количества аварий и инцидентов в год	Количество аварий, шт.	376,5	300	194,22
Увеличение экономического эффекта за счет оптимизации бурения	NPV, тыс. руб.	1	50000	118070

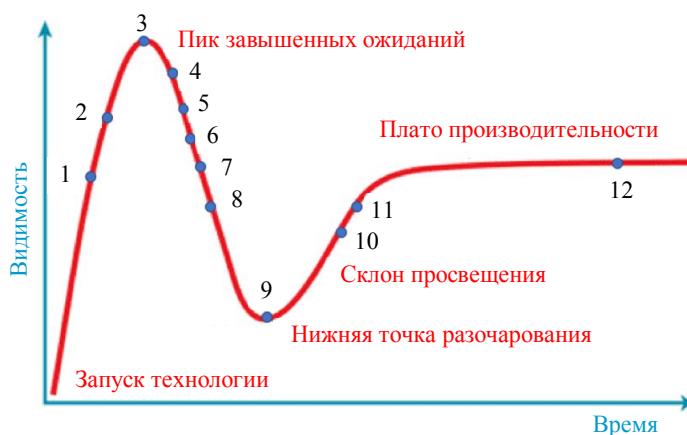


Рис.4. Кривая Гартнера для технологий нефтегазового сектора [6]

1 – Edge AI; 2 – устройства объемного отображения; 3 – умное рабочее место; 4 – IoT платформы; 5 – блокчейн; 6 – виртуальные ассистенты; 7 – смешанная реальность; 8 – цифровые двойники; 9 – дополненная реальность; 10 – предиктивная аналитика при бурении; 11 – машинное обучение; 12 – компьютерное моделирование

так как располагает развитой цифровой инфраструктурой и продвинутой телеметрии, установленной на скважинах [45].

Согласно результату заполнения разработанного опросника о состоянии ПАО «Газпром нефть», организация получила 89 баллов, следовательно, ее коэффициент цифровой зрелости равен 0,89, что позволяет отнести компанию к группе «инноваторы» и свидетельствует о ее подготовленности к реализации проекта.

*Оценка надежности технологии.* Технология блокчейн активно используется с 2008 г. и успела накопить достаточный массив данных о своем применении и подтвердила свою состоятельность во многих сферах – от финансовых операций до государственного документооборота. Например, Deutsche Bank использует инновацию для продуктов в сфере инвестиций, а Amazon применяет для работы в сфере медицинского страхования [46]. В связи с большим количеством подтвержденных кейсов успешного использования и принятия технологии на уровне многих государств ей присваивается коэффициент надежности со значением 1.

*Оценка инновационности технологии.* Согласно авторской методологии, необходимо определить уровень инновационности технологии. Чтобы рассчитать коэффициент инновационности технологий, преобразуем кривую и нанесем на нее наиболее актуальные для нефтегазового сектора технологии в соответствии с данными, приведенными в исследовании Gartner (рис.4).

Как видно из представленной диаграммы (рис.4), рассматриваемая технология пребывает в «области впадины» разочарования на кривой Гартнера, следовательно, ее коэффициент инновационности принимает значение  $C_{rel} = 0,6$ .

*Расчет показателя применимости цифрового проекта.* Для обеспечения системного подхода к комплексной многопараметрической оценке необходимо рассчитать итоговый показатель, включающий в себя все описанные элементы. Ни один из коэффициентов не принял значение, равное 0 ( $C_{rel} > 0$ ). Из этого следует, что технология не имеет современных заменителей и является актуальной.  $C_g > 1$  означает, что реализация проекта полностью совпадает с целями и задачами, которые устанавливает организация, благотворно влияя на важные показатели для хозяйственной деятельности нефтегазовой компании.  $C_{dm} > 0,8$  свидетельствует о достаточном уровне цифровой трансформации нефтегазовой компании, которая позволяет ей имплементировать оцениваемую технологию. Значение  $C_r > 0$  сигнализирует о том, что технология является апробированной и достаточно изученной для ее безрискового использования в деятельности нефтегазодобывающей организации. Соответственно,  $C_{int} > 0$ , что означает отсутствие препятствий в реализации проектов с точки зрения неэкономических показателей, присущих цифровым проектам:

$$C_{int} = 2,36 \leftarrow 0,89 \leftarrow 0,6 \leftarrow 1.$$

*Оценка цифровой зрелости компании.* На следующем этапе необходимо оценить цифровую зрелость рассматриваемой компании. «Газпром нефть» на текущий момент является одним из флагманов цифровой трансформации в мире. У организации выстроена эффективная нормативно-регламентная база, позволяющая быстро тестировать различные гипотезы и ускоренно внедрять различные цифровые технологии в деятельность компании.

Если говорить о корпоративной культуре, то цифровая трансформация является одним из ключевых векторов развития, который пронизывает компанию на всех уровнях, начиная от менеджмента и заканчивая линейным персоналом. С точки зрения технологической подготовленности «Газпром нефть» также может называться бенчмарком в отрасли,



По результатам использования разработанной системы критериев на реальном цифровом проекте, внедряемом в деятельность нефтегазовой компании, можно сделать вывод о возможностях применения данной методики для обеспечения системного подхода к принятию и осуществлению управлеченческих решений на уровне компаний нефтегазового сектора.

*Сопоставление предлагаемой методики оценки с традиционными подходами.* Одним из основных подходов, используемых для оценки эффективности инвестиционных проектов, является расчет и интерпретация инвестиционных показателей – NPV, IRR, ROI, PI, DPP. Показатель чистой приведенной стоимости (NPV) позволяет оценить, насколько целесообразна реализация проекта с экономической точки зрения. При этом использование данного показателя не позволяет отразить специфику отдельных проектов, в том числе в сфере цифровых решений. Ввиду этого требуется оценка дополнительных параметров, что предполагает совершенствование подходов к ее осуществлению и обосновывает значимость разработанной методики.

Одновременное применение обозначенного традиционного подхода и предлагаемой в исследовании методики могут давать различные результаты. В рассмотренном кейсе  $NPV \geq 0$  и значение итогового показателя указывают на целесообразность реализации проекта, однако ситуации могут быть различными. В табл.5 приведено сопоставление предлагаемой методики оценки с традиционным подходом в контексте интерпретации получаемых результатов и принятия управлеченческих решений.

Проведенный анализ доказывает неполноту информации, получаемой при использовании исключительно традиционных подходов к оценке применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере, и обосновывает необходимость задействования предложенного показателя для повышения качества и эффективности принимаемых, а также реализуемых управлеченческих решений.

**Обсуждение.** Критерии, рассчитанные для одного проекта, не несут ценности для менеджмента компаний, которые используют методику для оценки цифровых проектов. Рассчитанный в рамках комплексной многопараметрической оценки итоговый показатель максимально репрезентативен при сравнении нескольких проектов. Основные конкурентные преимущества разработанной системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере (по сравнению с аналогами): учет всех ключевых аспектов, специфичных для цифровых технологий; низкая степень зависимости от человеческого фактора, выражющегося в экспертных оценках различных критериев. Основными недостатками разработанной методики являются зависимость от других аналитических систем (Gartner Hype Cycle) и необходимость задействования экспертных оценок в рамках определения надежности и актуальности внедряемой цифровой технологии, что негативно влияет на точность оценки данных параметров.

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ дополнительных массивов информации о цифровых проектах в нефтегазовой сфере, необходимых для повышения уровня точности оценки критериев применимости, а также на совершенствование методики оценки каждого из критериев, входящих в представленную систему, для максимального снижения уровня неопределенности и учета максимального количества факторов.

**Заключение.** Одна из ключевых задач нефтегазовой индустрии в текущее время, характеризуемое нестабильной экономической и геополитической конъюнктурой, – поиск путей повышения эффективности и сокращения расходов. Решением является применение новых технологических решений, большая часть из которых относится к цифровым технологиям, которые перешли от статуса «имиджевых проектов» к эффективным инструментам повышения рентабельности разработки и эксплуатации нефтегазовых месторождений. Данный факт подтверждается и резким ростом спроса на инновационные решения во всех сферах отрасли, каждое из которых нужно детально оценивать и отбирать среди других. Стоит учитывать, что цифровые технологии являются не только возможностью для нефтегазовых компаний, но и определенным вызовом, так как помимо обновления технологической инфраструктуры требуют от организаций активного развития компетенций сотрудников и даже частичной смены бизнес-моделей.

С целью снижения неопределенности при принятии эффективных управлеченческих решений в рамках отбора цифровых проектов в нефтегазовой сфере, разработана система критериев оценки подобных проектов, основанная на четырех ключевых составляющих: уровень цифровой зрелости компаний; соответствие внедряемой технологии целям и задачам организации; уровень надежности внедряемой технологии; уровень инновационности внедряемого проекта.



Таблица 5

## Сопоставление предлагаемой методики комплексной многопараметрической оценки с традиционными подходами

Условия		Характеристика	Интерпретация результатов	Принятие управленческого решения
Показатель NPV	Итоговый показатель $C_{int}$			
NPV ≥ 0	$C_{int} > 0$	Оба показателя дают положительный результат	Полученные результаты указывают на целесообразность и эффективность реализации проекта как с точки зрения экономики, так и инновационности и результативности самого проекта	В условиях доказанной результативности проекта его реализация представляется целесообразной
NPV < 0	$C_{int} > 0$	NPV дает отрицательный результат, итоговый показатель – положительный	Полученные результаты свидетельствуют о том, что реализация заявленного проекта неэффективна с экономической точки зрения, но используемые технологии являются прогрессивными, а их внедрение соответствует целевым приоритетам компании	Необходимо обратиться к результатам экономической оценки, рассмотреть возможности поддержки цифрового проекта и обосновать значимость его реализации для компании
NPV ≥ 0	$C_{int} = 0$	NPV дает положительный результат, итоговый показатель – отрицательный	<p>С точки зрения экономической эффективности, проект является результативным. Чтобы сделать вывод о значении итогового показателя, необходимо оценить значения каждого коэффициента:</p> <p><math>C_g = 0</math> – реализация проекта не соответствует установленным целям компании, требуется его адаптация к реализуемым приоритетам;</p> <p><math>C_{dm} = 0</math> – текущий уровень цифровой зрелости компании не позволяет реализовать имеющийся потенциал, что обуславливает необходимость принятия соответствующих мер;</p> <p><math>C_{rel} = 0</math> – предлагаемая технология имеет более эффективный аналог на рынке, ввиду чего следует расширить перечень рассматриваемых вариантов (рассмотреть более прогрессивные и конкурентоспособные технологические решения);</p> <p><math>C_r = 0</math> – отсутствуют релевантные данные о внедрении предлагаемой технологии, что обуславливает наличие повышенных производственно-технологических и финансово-экономических рисков</p>	Принятие управленческого решения в отношении реализации проекта должно быть пересмотрено в зависимости от того, какой именно аспект итогового показателя является пробелом. При наличии более прогрессивных аналогов предлагаемой технологии необходимо оценить возможности их внедрения. Если осуществление проекта в целом противоречит целям компании, то вне зависимости от экономического эффекта вопрос о принятии его к осуществлению должен быть пересмотрен
NPV < 0	$C_{int} = 0$	Оба показателя дают отрицательный результат	Полученные результаты свидетельствуют о неэффективности реализации проекта с экономической стороны, его потенциальной нежизнеспособности с точки зрения инновационности, надежности, соответствия целям и задачам компании	В условиях доказанной отрицательной экономической эффективности и нерезультативности реализации проекта целесообразно его отклонение (или перенос сроков реализации в случае пересмотра технологической составляющей или изменения приоритетов деятельности компании)

Коэффициент соответствия проекта целям и задачам компании рассчитывается при помощи соотношения технологического эффекта, привнесенным за счет внедрения проекта и существующих целей организации относительно измеряемой метрики. Значение коэффициента цифровой зрелости определяется при помощи метода экспертных оценок или с использованием специального опросника. Актуальность технологии оценивается за счет использования существующих систем отслеживания технологических трендов. Надежность технологии, применяемой в рамках проекта, определяется на базе информации об истории ее использования.



Все разработанные метрики учитываются при расчете итогового критерия – итогового показателя. Именно с его помощью можно сравнивать разноплановые цифровые проекты, внедряемые в деятельность нефтегазовой компании. Итоговый показатель, как и вся разработанная система критериев оценки применимости цифровых проектов, призвана не заменить, а дополнить существующие экономические показатели эффективности проектов для учета особенностей подобных бизнес-инициатив.

В рамках исследования разработанная система критериев применимости была апробирована на реальном цифровом проекте нефтегазовой компании. Тестирование методики показало ее практическую применимость и позволило определить точки роста для дальнейшего развития системы критериев. Таким образом, в рамках проведенного научного исследования разработан комплексный подход к оценке применимости цифровых проектов в нефтегазовом секторе, направленный на минимизацию уровня неопределенности при принятии управленческих решений и, как следствие, максимизацию технологической и экономической эффективности реализуемых на уровне компаний цифровых проектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kuzemko C., Bradshaw M., Bridge G. et al. Covid-19 and the Politics of Sustainable Energy Transitions // Energy Research & Social Science. 2020. Vol. 68. № 101685. DOI: [10.1016/j.erss.2020.101685](https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101685)
2. Jinfang Tian, Longguang Yu, Rui Xue et al. Global low-carbon energy transition in the post-COVID-19 era // Applied Energy. 2021. Vol. 307. № 118205. DOI: [10.1016/j.apenergy.2021.118205](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118205)
3. Anh Tuan Hoang, Nižetić S., Olcer A.I. et al. Impacts of COVID-19 pandemic on the global energy system and the shift progress to renewable energy: Opportunities, challenges, and policy implications // Energy Policy. 2021. Vol. 154. № 112322. DOI: [10.1016/j.enpol.2021.112322](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112322)
4. Ilinova A., Chanyshcheva A. Algorithm for assessing the prospects of offshore oil and gas projects in the Arctic // Energy Reports. 2020. Vol. 6. S. 2. P. 504-509. DOI: [10.1016/j.egyr.2019.11.110](https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.110)
5. Ильинова А.А., Ромашева Н.В., Стройков Г.А. Перспективы и общественные эффекты проектов секвестрации и использования углекислого газа // Записки Горного института. 2020. Т. 244. С. 493-502. DOI: [10.31897/PMI.2020.4.12](https://doi.org/10.31897/PMI.2020.4.12)
6. Romasheva N., Dmitrieva D. Energy Resources Exploitation in the Russian Arctic: Challenges and Prospects for the Sustainable Development of the Ecosystem // Energies. 2021. Vol. 14. Iss. 24. № 8300. DOI: [10.3390/en1424830](https://doi.org/10.3390/en1424830)
7. Samylovskaya E., Makhovikov A., Lutonin A. et al. Digital Technologies in Arctic Oil and Gas Resources Extraction: Global Trends and Russian Experience // Resources. 2022. Vol. 11. Iss. 3. № 29. DOI: [10.3390/resources11030029](https://doi.org/10.3390/resources11030029)
8. Алексеев А.Д., Жуков В.В., Стриженев К.В., Черевко С.А. Изучение трудноизвлекаемых и нетрадиционных объектов согласно принципу «фабрика коллектора в пласте» // Записки Горного института. 2017. Т. 228. С. 695-704. DOI: [10.25515/PMI.2017.6.695](https://doi.org/10.25515/PMI.2017.6.695)
9. Maizi Y., Bendavid Y., Belarbi T. Evaluation of RFID technology for real time drill pipes efficient management in harsh environments: A discrete event simulation model // Proceedings of the International Conference on Modeling and Applied Simulation 2018, 17-19 September 2018, Budapest, Hungary. Rende, 2018. Vol. 17. P. 83-88.
10. Hassani H., Silva E.S., Al Kaabi A.M. The role of innovation and technology in sustaining the petroleum and petrochemical industry // Technological Forecasting and Social Change. 2017. Vol. 119. P. 1-17. DOI: [10.1016/j.techfore.2017.03.003](https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.03.003)
11. Matkovskaya Ya.S., Vechkinzova E., Petrenko Y., Steblyakova L. Problems of Innovative Development of Oil Companies: Actual State, Forecast and Directions for Overcoming the Prolonged Innovation Pause // Energies. 2021. Vol. 14. Iss. 4. № 837. DOI: [10.3390/en14040837](https://doi.org/10.3390/en14040837)
12. Navarro J., Sanchidrian J.A., Segarra P. et al. On the mutual relations of drill monitoring variables and the drill control system in tunneling operations // Tunnelling and Underground Space Technology. 2018. Vol. 72. P. 294-304. DOI: [10.1016/j.tust.2017.10.011](https://doi.org/10.1016/j.tust.2017.10.011)
13. Beloglazov I.I., Petrov P.A., Bazhin V.Yu. The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry // Eurasian Mining. 2020. № 2. P. 50-54. DOI: [10.17580/em.2020.02.12](https://doi.org/10.17580/em.2020.02.12)
14. Clemens T., Viechtbauer-Gruber M. Impact of Digitalization on the Way of Working and Skills Development in Hydrocarbon Production Forecasting and Project Decision Analysis // SPE Reservoir Evaluation & Engineering. 2020. Vol. 23. Iss. 4. P. 1358-1372. № SPE-200540-PA. DOI: [10.2118/200540-PA](https://doi.org/10.2118/200540-PA)
15. Козлова Д.В., Пигарев Д.Ю. Интеллектуальная добыча. Почему России необходимо изменить подход к государственному стимулированию отрасли // Neftgas.RU. 2018. № 7 (79). С. 32-39.
16. Абдрахманова Г.И., Быховский К.Б., Веселитская Н.Н. и др. Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты // Доклад к XXII Апрельской международной научной конференции по проблемам развития экономики и общества, 13-30 апреля 2021, Москва, Россия. М.: Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 2021. 239 с.
17. Dmitrievskiy A.N., Eremin N.A., Stolyarov V.E. Digital transformation of gas production // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 700. Iss. 1. № 012052. DOI: [10.1088/1757-899X/700/1/012052](https://doi.org/10.1088/1757-899X/700/1/012052)
18. Линник Ю.Н., Кирюхин М.А. Цифровые технологии в нефтегазовом комплексе // Вестник университета. 2019. Т. 1. № 7. С. 37-40. DOI: [10.26425/1816-4277-2019-7-37-40](https://doi.org/10.26425/1816-4277-2019-7-37-40)
19. Kyunghwan Oh, Hyeongseog Kho, Youngjin Choi, Seogjun Lee. Determinants for Successful Digital Transformation // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 3. № 1215. DOI: [10.3390/su14031215](https://doi.org/10.3390/su14031215)



20. Pereira C.S., Durão N., Moreira F., Veloso B. The Importance of Digital Transformation in International Business // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 2. № 834. DOI: [10.3390/su14020834](https://doi.org/10.3390/su14020834)
21. Litvinenko V.S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector // Natural Resources Research. 2019. Vol. 29. Iss. 3. P. 1521-1541. DOI: [10.1007/s11053-019-09568-4](https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4)
22. Van Looy A. On the Synergies Between Business Process Management and Digital Innovation // Business Process Management. Cham: Springer, 2018. P. 359-375. DOI: [10.1007/978-3-319-98648-7\\_21](https://doi.org/10.1007/978-3-319-98648-7_21)
23. Shiqian Wang. Shale gas exploitation: Status, problems and prospect // Natural Gas Industry B. 2018. Vol. 5. Iss. 1. P. 60-74. DOI: [10.1016/j.ngib.2017.12.004](https://doi.org/10.1016/j.ngib.2017.12.004)
24. Tewari S., Dwivedi U.D. Ensemble-based big data analytics of lithofacies for automatic development of petroleum reservoirs // Computers & Industrial Engineering. 2019. Vol. 128. P. 937-947. DOI: [10.1016/j.cie.2018.08.018](https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.08.018)
25. Golovina E., Pasternak S., Tsiglianu P., Tselischev N. Sustainable Management of Transboundary Groundwater Resources: Past and Future // Sustainability. 2021. Vol. 13. Iss. 21. № 12102. DOI: [10.3390/su132112102](https://doi.org/10.3390/su132112102)
26. Уланов В.Л., Уланова Е.Ю. Влияние внешних факторов на национальную энергетическую безопасность // Записки Горного института. 2019. Т. 238. С. 474-480. DOI: [10.31897/PML2019.4.474](https://doi.org/10.31897/PML2019.4.474)
27. Юрак В.В., Душин А.В., Мочалова Л.А. Против устойчивого развития: сценарии будущего // Записки Горного института. 2020. Т. 242. С. 242-247. DOI: [10.31897/PML2020.2.242](https://doi.org/10.31897/PML2020.2.242)
28. Кукина Е.А. Стратегия цифровой трансформации как инструмент реализации бизнес-стратегии компании нефтегазового сектора современной России // Управленческое консультирование. 2021. № 6. С. 40-53. DOI: [10.22394/1726-1139-2021-6-40-53](https://doi.org/10.22394/1726-1139-2021-6-40-53)
29. Samoun M.H.B., Holmås H., Santamarta S. et al. Going Digital Is Hard for Oil and Gas Companies—but the Payoff Is Worth It. URL: [https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-Going-Digital-Is-Hard-for-Oil-and-Gas-Companies-but-the-Payoff-Is-Worth-It-Mar-2019\\_tcm9-215951.pdf](https://web-assets.bcg.com/img-src/BCG-Going-Digital-Is-Hard-for-Oil-and-Gas-Companies-but-the-Payoff-Is-Worth-It-Mar-2019_tcm9-215951.pdf) (дата обращения 15.03.2022).
30. Petrenko Ye., Denisov I., Metsik O. Foresight Management of National Oil and Gas Industry Development // Energies. 2022. Vol. 15. Iss. 2. № 491. DOI: [10.3390/en15020491](https://doi.org/10.3390/en15020491)
31. Kane G.C., Palmer D., Phillips A.N. et al. Strategy, Not Technology, Drives Digital Transformation // MIT Sloan Management Review. 2015. Vol. 14. P. 1-25.
32. Berg C.F., Lopez O., Berland H. Industrial applications of digital rock technology // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2017. Vol. 157. P. 131-147. DOI: [10.1016/j.petrol.2017.06.074](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.06.074)
33. Grabowska S., Saniuk S. Assessment of the Competitiveness and Effectiveness of an Open Business Model in the Industry 4.0 Environment // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. 2022. Vol. 8. Iss. 1. № 57. DOI: [10.3390/joitmc8010057](https://doi.org/10.3390/joitmc8010057)
34. Ivanova I.A., Pulyaeva V.N., Vlasenko L.V. et al. Digitalization of organizations: Current issues, managerial challenges and socio-economic risks // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1399. Iss. 3. № 033038. DOI: [10.1088/1742-6596/1399/3/033038](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033038)
35. Rafiq M., Maqbool S., Martins J.M. et al. A Study on Balanced Scorecard and Its Impact on Sustainable Development of Renewable Energy Organizations; A Mediating Role of Political and Regulatory Institutions // Risks. 2021. Vol. 9. Iss. 6. № 110. DOI: [10.3390/risks9060110](https://doi.org/10.3390/risks9060110)
36. Kaplan R.S., Norton D.P. The Balanced Scorecard – Measures That Drive Performance // Harvard Business Review. 1992. № 70 (1). P. 71-79.
37. Stalmachova K., Chinoracky R., Strenitzerova M. Changes in Business Models Caused by Digital Transformation and the COVID-19 Pandemic and Possibilities of Their Measurement—Case Study // Sustainability. 2022. Vol. 14. Iss. 1. № 127. DOI: [10.3390/su14010127](https://doi.org/10.3390/su14010127)
38. Chih-Chao Chung, Li-Chung Chao, Chih-Hong Chen, Shi-Jer Lou. A Balanced Scorecard of Sustainable Management in the Taiwanese Bicycle Industry: Development of Performance Indicators and Importance Analysis // Sustainability. 2016. Vol. 8. Iss. 6. № 518. DOI: [10.3390/su08060518](https://doi.org/10.3390/su08060518)
39. Hussain A., Farooq M.U., Habib M.S. et al. COVID-19 Challenges: Can Industry 4.0 Technologies Help with Business Continuity? // Sustainability. 2021. Vol. 13. Iss. 21. № 11971. DOI: [10.3390/su132111971](https://doi.org/10.3390/su132111971)
40. Hongfang Lu, Lijun Guo, Azimi M., Kun Huang. Oil and Gas 4.0 era: A systematic review and outlook // Computers in Industry. 2019. Vol. 111. P. 68-90. DOI: [10.1016/j.compind.2019.06.007](https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.06.007)
41. Vuksanović Herceg I., Kuč V., Mijušković V.M., Herceg T. Challenges and Driving Forces for Industry 4.0 Implementation // Sustainability. 2020. Vol. 12. Iss. 10. № 4208. DOI: [10.3390/su12104208](https://doi.org/10.3390/su12104208)
42. Недосекин А.О., Рейшахрим Е.И., Козловский А.Н. Статистический подход к оценке экономической устойчивости объектов минерально-сырьевого комплекса России // Записки Горного института. 2019. Т. 237. С. 354-360. DOI: [10.31897/PML2019.3.354](https://doi.org/10.31897/PML2019.3.354)
43. Arcese G., Campagna G., Flammini S., Martucci O. Near Field Communication: Technology and Market Trends // Technologies. 2014. Vol. 2. Iss. 3. P. 143-163. DOI: [10.3390/technologies2030143](https://doi.org/10.3390/technologies2030143)
44. Muñoz-Saavedra L., Miró-Amarante L., Domínguez-Morales M. Augmented and Virtual Reality Evolution and Future Trend // Applied Sciences. 2020. Vol. 10. Iss. 1. № 322. DOI: [10.3390/app10010322](https://doi.org/10.3390/app10010322)
45. Pashkevich M.A., Petrova T.A. Development of an operational environmental monitoring system for hazardous industrial facilities of Gazprom Dobycha Urengoy // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1384. Iss. 1. № 012040. DOI: [10.1088/1742-6596/1384/1/012040](https://doi.org/10.1088/1742-6596/1384/1/012040)
46. Berdik D., Otoum S., Schmidt N. et al. A Survey on Blockchain for Information Systems Management and Security // Information Processing & Management. 2021. Vol. 58. Iss. 1. № 102397. DOI: [10.1016/j.ipm.2020.102397](https://doi.org/10.1016/j.ipm.2020.102397)

**Авторы:** А.Е.Череповицын, д-р экон. наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-0472-026X> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия), Н.А.Третьяков, аспирант, [tretjakov@leadercup.ru](mailto:tretjakov@leadercup.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8184-7497> (Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия).

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.