Русскоязычный перевод статьи DOI: 10.3390/resources12060064 *

Концептуальные основы управления реализацией проектов нефтегазового инжиниринга

П.П. ЦЫГЛЯНУ[1] ✉, Н.В. РОМАШЕВА[1], А. НЕНЬКО[2]
[1] *Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия*
[2] *ООО «Газпромнефть-Технологические партнерства», Санкт-Петербург, Россия*
✉ *pavel.tsiglianu@gmail.com;* ☏ *+7-921-184-49-95*

Ссылка для цитирования оригинальной статьи: Tsiglianu, P.; Romasheva, N.; Nenko, A. Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation. *Resources* 2023, 12, 64. https://doi.org/10.3390/resources12060064

Аннотация: Более половины мирового спроса на энергоресурсы сегодня покрывается за счет нефти и природного газа, и, по различным прогнозам, в ближайшие 30-50 лет он увеличится в 1,5-2 раза. Это создает серьезные перспективы для развития национальных нефтегазовых секторов различных стран, в том числе и России. Современные отраслевые проблемы создают существенные ограничения для освоения российских нефтегазовых ресурсов, и, учитывая их преимущественно технологический характер, ключевым решением является наращивание внутреннего технологического потенциала, в частности за счет реализации инжиниринговых проектов, направленных на создание необходимых технологических решений. В данной статье представлен подход к разработке концептуальной основы управления, позволяющей эффективно реализовывать нефтегазовые инжиниринговые проекты. Методология исследования включает кабинетные исследования, систематизацию, экспертный метод (включая интервью и анкетирование), методы группировки, обобщения и конструирования алгоритмов. Результаты исследования показали, что эффективная реализация инжиниринговых проектов должна основываться на системном подходе к управлению, одним из которых является процесс ОТГ. В данной статье анализируются методы ОТГ, на основе которых определяются ключевые показатели готовности проекта. На основе обзора литературы и экспертного метода обоснованы соответствующие показатели готовности, необходимые для оценки нефтегазовых инжиниринговых проектов. С учетом этих показателей предложена структура комплексной оценки готовности нефтегазовых инжиниринговых проектов и разработан алгоритм принятия управленческих решений по реализации проектов.

Ключевые слова: инжиниринговые проекты; нефть и газ; ресурсы; проблемы управления; фреймворк; оценка готовности проекта; оценка технологической готовности (ОТГ); уровень технологической готовности (УТГ); «этап-ворота»; уровень готовности технологического проекта (УГТП).

Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation

Pavel P. TSIGLIANU[1] ✉, Natalia V. ROMASHEVA[1] and Artem NENKO[2]
[1] *Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russia*
[2] *Gazpromneft-Technological Partnerships LLC, Saint Petersburg, Russia*
✉ *pavel.tsiglianu@gmail.com;* ☏ *+7-921-184-49-95*

Abstract: More than half of the global demand for energy resources is covered today by oil and natural gas, and according to various forecasts, it is expected to grow 1.5–2 times greater over the next 30–50 years. This creates serious prospects for the development of the national oil and gas sectors of various countries, including Russia. Modern industry challenges create significant restrictions for the development of Russian oil and gas resources, and considering their predominant technological nature, the key solution is the increase in internal technological potential, in particular through the implementation of engineering projects aimed at creating the necessary technological solutions. This article presents an approach to the development of a conceptual management framework that will allow for the effective implementation of oil and gas engineering projects. The methodology of the research includes desk studies, systematization, the expert method (including interviews and questionnaires), grouping, generalization, and algorithm design techniques. The results of the study showed that effective implementation of engineering projects should be based on a systematic management approach, one of which is the TRA process. This article analyzes the TRA methods, on the basis of which key project readiness indicators are identified. Based on a literature review and the expert method, the relevant readiness indicators necessary for the assessment of oil and gas engineering projects are substantiated. Given these indicators, the authors proposed a framework for a comprehensive readiness assessment of oil and gas engineering projects and developed an algorithm for management decision-making on project implementation.

Keywords: engineering projects; oil and gas; resources; management challenges; framework; project readiness assessment; Technological Readiness Assessment (TRA); Technology Readiness Level (TRL); Stage-Gate®; Technology Project Readiness Level (TPRL)

---

* Перевод подготовлен для повышения интереса русскоязычной аудитории к данной статье.

© 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).
© Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II (перевод), 2024.

1. Введение

Развитие мировой экономики неизбежно связано с увеличением спроса на энергоресурсы [1, 2]. Согласно аналитическим обзорам, за последние 10 лет мировой спрос на энергоресурсы вырос на 13 %, а в ближайшие 30-50 лет ожидается его дальнейший рост на 50-100 % [3]. Около 80 % спроса на энергоресурсы покрывается за счет трех источников: нефти (29-32 %), природного газа (22-25 %) и угля (25-27 %) [3,4]. Поскольку более половины мирового спроса на энергоресурсы (55 %) приходится на нефть и природный газ, это обстоятельство создает обоснованные перспективы для развития национальных нефтегазовых секторов различных стран, в том числе и России, экономическая модель которой основана на политике, ориентированной на ресурсы [5]. Российский нефтегазовый комплекс является одним из основных источников роста национальной экономики – по данным Росстата, Минфина России и ФТС России на 2022 год, нефтегазовый сектор обеспечивает до 9 % ВВП [6], 42 % доходов федерального бюджета [7] и 57 % экспорта [8].

Вместе с тем, истощение традиционных запасов углеводородов и увеличение доли трудноизвлекаемых запасов [9-11], ухудшение геологических и технологических условий их добычи [12, 13], отсутствие российских технологических решений и высокая зависимость от зарубежных технологий [14, 15], повышение требований к эффективности процессов и операций отрасли [16] создают значительные вызовы для современной нефтегазовой отрасли, особенно в части технологического обеспечения основных видов деятельности. Это обстоятельство создает острую необходимость поиска технологических решений, в рамках которых предусмотрены два классических варианта: «сделать» или «купить».

Приобретение технологий извне (вариант «купить») является общепринятой нормой во многих отраслях в разных странах и вполне оправдано, поскольку мировая экономика основана на глобальном рынке; одни товары производит и продает государство, другие приобретаются путем взаимовыгодного товарообмена. Однако в рамках рассматриваемого случая этот вариант имеет два существенных недостатка:

1. Текущая геополитическая ситуация не позволяет свободно обмениваться товарами между Россией и рядом стран, в частности, технологиями в нефтегазовой отрасли.

2. Ключевые (опорные) государственные отрасли (одной из которых для России является нефтегазовый сектор) не должны быть принципиально зависимы от иностранных технологий и оборудования, поскольку несогласованность с зарубежными партнерами или иные обстоятельства, приводящие к технологическим рискам, могут серьезно повлиять на национальную экономику.

Создание технологий (вариант «сделать») зачастую является более дорогим и рискованным вариантом, однако, учитывая важность нефтегазовой отрасли для России и текущую геополитическую ситуацию, этот вариант представляется наиболее правильным и дальновидным.

В связи с этим одним из наиболее оптимальных решений существующих проблем является развитие внутриотраслевого технологического потенциала за счет развития российского рынка технологического инжиниринга в нефтегазовом комплексе [17-19]. Реализация инжиниринговых проектов, направленных на создание востребованных технологий, будет способствовать решению наиболее актуальных отраслевых проблем, снижению зависимости российского нефтегазового комплекса от зарубежных технологических решений и переходу от модели экстенсивного экономического роста к интенсивному [20-22].

Успешная реализация инжиниринговых проектов – это результат эффективного управления. Сегодня мировые нефтегазовые компании создают значительное количество технологических решений, которые существенно повышают эффективность производственных бизнес-процессов, снижают количество аварийных ситуаций, помогают реализовать стратегические инициативы компаний. Однако в процессе реализации инжинирингового проекта могут возникать различные проблемы, делающие реализацию проекта нецелесообразной или невозможной. Например:

- не получено подтверждение возможности создания технологии (технологическая гипотеза не подтверждена) [23];
- фактическая потребность в финансировании превысила запланированную сумму [24, 25];
- весь перечень необходимых работ не был выполнен в установленные сроки [24, 25];
- проект оказался технологически неэффективным (достигнутый технологический эффект значительно уступает запланированному) [26]. (Неподтверждение технологической гипотезы

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

отражает невозможность создания конкретного технологического решения в заданных условиях, а недостаточная технологическая эффективность решения отражает ситуацию, при которой технологическое решение создано, но его фактические параметры (эффект) существенно уступают запланированным).

Подобные ситуации приводят к приостановке проектов, отказу от их дальнейшей реализации и потере вложенных компанией инвестиций. Поэтому подробный анализ особенностей и проблемных аспектов реализации инженерного проекта является особенно актуальным.

Процесс реализации инженерного проекта неизбежно сталкивается с тремя основными проблемами для любого проекта: производительность, график и бюджет [26]. Систематический подход к разработке технологий может снизить неопределенность всех трех аспектов, в то время как обратная ситуация может привести к превышению затрат, задержкам графика и снижению первоначальных показателей [27]. Решение этих проблем заключается в необходимости эффективного управления проектом, которое должно основываться на всесторонней и объективной оценке готовности технологии и возникающих рисков в ключевых точках жизненного цикла создания технологии [25].

Оценка технологической готовности (ОТГ) – это систематический, формальный процесс, целью которого является определение уровня зрелости аппаратных и программных технологий и процессов, включая необходимые уровни технологических, экономических и других характеристик [23, 24].

На сегодняшний день используется значительное количество методов оценки технологической готовности. Каждый из них ориентирован на определенную область применения, основан на расчете ряда показателей и имеет набор преимуществ и ограничений. Более детальный анализ этих методов позволил сделать вывод, что большинство из них основано на одном из двух классических методов реализации технологических проектов: методе УТГ (уровень технологической готовности) [25] и методе «этап-ворота» [28]. В основе этих методов лежит линейный подход инновационного цикла, при котором создание технологии осуществляется на основе прохождения определенного количества этапов от генерации идеи до создания готового технологического решения. Несмотря на широкое распространение, эти методы имеют ряд ограничений, в частности, они не позволяют всесторонне оценить готовность проекта и не в полной мере адаптированы к целям нефтегазовых проектов.

Целью данного исследования является разработка концептуальной схемы управления реализацией нефтегазовых инжиниринговых проектов на основе комплексной оценки готовности технологий с учетом существующих подходов, современных требований и отраслевой специфики.

Для достижения этой цели были поставлены четыре исследовательских вопроса (ИВ):

ИВ1: Какие методы управления реализацией инжиниринговых проектов используются компаниями сегодня?

ИВ2: Каковы современные требования к методам управления реализацией инженерных проектов?

ИВ3: Какие показатели необходимо учитывать для комплексной оценки готовности нефтегазовых инжиниринговых проектов?

ИВ4: На основе каких компонентов должна быть создана схема управления реализацией проектов нефтегазового инжиниринга?

ИВ5: Как должны приниматься решения по управлению проектом в соответствии с предложенной моделью?

2. Материалы и методы

Структура исследования представлена на рисунке 1.

Основные методы исследования включают предварительные исследования, систематизацию, экспертный метод (интервью и анкетирование), методы группировки, обобщения и построения алгоритмов.

Предварительное исследование основывалось на обзоре научной литературы и было посвящено изучению мировых тенденций и прогнозов в области энергетики, ресурсного потенциала России, возможностей развития и актуальных проблем российской нефтегазовой отрасли.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Целью данного этапа исследования было проведение предварительного анализа глобальных энергетических процессов, влияния нефтегазового сектора на удовлетворение мирового спроса на энергоресурсы, потенциала российского нефтегазового сектора, основных проблем, с которыми сталкивается российский нефтегазовый сектор, и путей их решения на основе управления реализацией инжиниринговых проектов. В качестве теоретической базы исследования использованы:

- Статистические данные аналитических агентств, отраслевых компаний, профильных министерств и ведомств – S&P Глобал, Рейтер, Шелл, МЭА, ЭксонМобил, БП, Делойт, Всемирный банк, Министерство финансов РФ, Федеральная служба государственной статистики РФ, Федеральная таможенная служба РФ и др.
- Публикации в научных журналах – «Энергия», «Ресурсы», « Журнал морской науки и техники», «Устойчивое развитие», «Прикладные науки», «Нефтегазовая наука и техника», «Записки Горного института», «Международный журнал инженерных исследований и технологий», «Технологическое прогнозирование и социальные изменения», «Журнал управления продуктовыми инновациями», «Калифорнийский обзор менеджмента», «Север и рынок: формирование экономического порядка», «Нефтяная промышленность», «Нефтегазовые инновации», «Нефтегазовая вертикаль», «Горный журнал», «Экономика» науки и др.

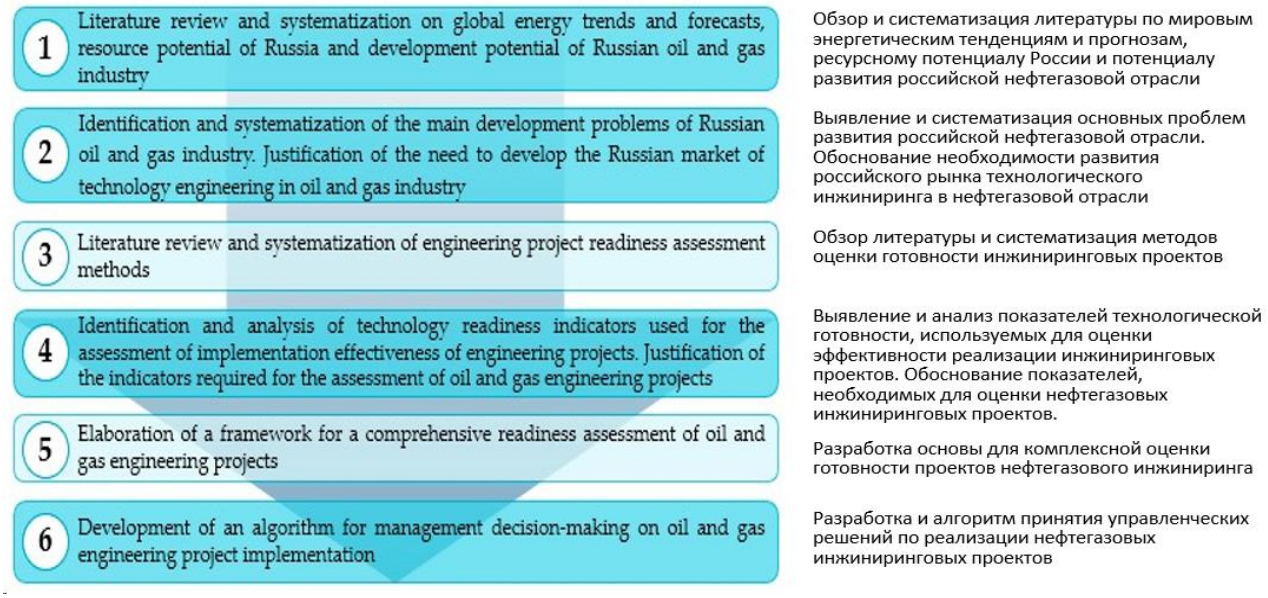


Рис. 1. Структура исследования

В качестве методологической основы исследования использовался процессный подход к реализации проектов технологического инжиниринга – УТГ (уровень технологической готовности), который основан на определении уровня зрелости разрабатываемых технологий, включая требуемые уровни технологических, экономических и других характеристик [23]. В рамках данного подхода были изучены и в дальнейшем использованы при разработке концептуальной схемы управления реализацией проектов нефтегазового инжиниринга такие методы ОТГ, как УТГ, УПГ, ИСЗ, УГС, МИАТ, УГТП и другие.

На первом этапе исследования, основываясь на обзоре литературы, авторы изучили методы оценки зрелости технологий. Сначала были рассмотрены два классических метода – УТГ и «этап-ворота» – и определены их преимущества и недостатки. Далее был проведен более детальный анализ методов оценки, на основе которого все методы были разделены на качественные и количественные категории, и сделан вывод о возможности их применения в различных ситуациях.

На втором этапе была разработана концептуальная схема управления реализацией проекта нефтегазового инжиниринга.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Сначала был проведен отбор показателей готовности. Для обоснования набора ключевых показателей, необходимых для комплексной оценки эффективности реализации проекта и готовности проекта нефтегазового инжиниринга в целом, был использован экспертный метод, включающий серию интервью и анкетирование профильных специалистов. В качестве респондентов были выбраны десять сотрудников нефтегазовых компаний (ПАО «Газпромнефть», ПАО «НК «Роснефть» и ПАО «Лукойл»), которые занимаются или занимались реализацией инжиниринговых проектов.

В ходе интервью эксперты осветили специфику реализации нефтегазовых инжиниринговых проектов, в частности, этапы и технологические подходы к реализации проектов, применение методов ОТГ в процессе реализации проектов, а также ключевые проблемы проектов (Приложение А).

На основе анализа результатов интервью респондентам было предложено принять участие в анкетировании с целью определения ключевых показателей готовности, рекомендуемых для использования в концептуальной схеме управления (Приложение Б).

Для отобранных показателей готовности на основе обзора и систематизации литературы было определено функциональное назначение и сформулировано определение уровней зрелости для каждого из них (Приложение В).

Кроме того, была разработана структура комплексной оценки готовности проектов нефтегазового инжиниринга. Предложенная структура включает матричную модель учета достигнутых результатов проекта (на основе выбранных показателей готовности) и аналитическую модель оценки интегрального показателя готовности.

В результате на основе методики проектирования алгоритмов был предложен алгоритм принятия управленческих решений по реализации проектов нефтегазового инжиниринга.

3. Ресурсы нефти и газа: Тенденции, прогнозы, проблемы и пути их решения

3.1. Тенденции и прогнозы развития мировой энергетики

Сегодня более половины мирового спроса на энергоресурсы (почти 55 %) приходится на нефть и газ [3]. По прогнозам до 2030 года доля нефти в его структуре будет колебаться от 25 % до 30,6 % (в среднем 28,5 %), а доля газа – от 21 % до 25,6 % (в среднем 23 %), что в сумме составит 52 % для обоих энергоресурсов (Рис. 2) [3, 4, 29, 30].

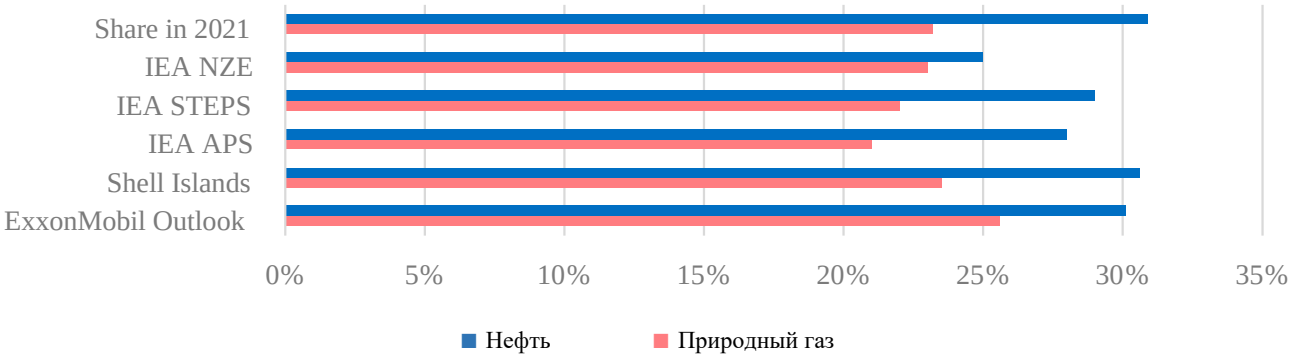


Рис. 2. Прогноз доли нефти и природного газа в мировом энергобалансе к 2030 году [3, 4, 29, 30]

Согласно более долгосрочным прогнозам, к 2050 году разброс значений будет более значительным – доля нефти составит 7-27,8 % (в среднем 19,7 %), а доля газа – 9-27,1 % (в среднем 18,3 %). В результате суммарная доля спроса на оба энергоресурса будет варьироваться от 16 % (самый консервативный вариант) до 55 % (самый оптимистичный вариант) (рис. 3) [3, 4, 29, 30].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

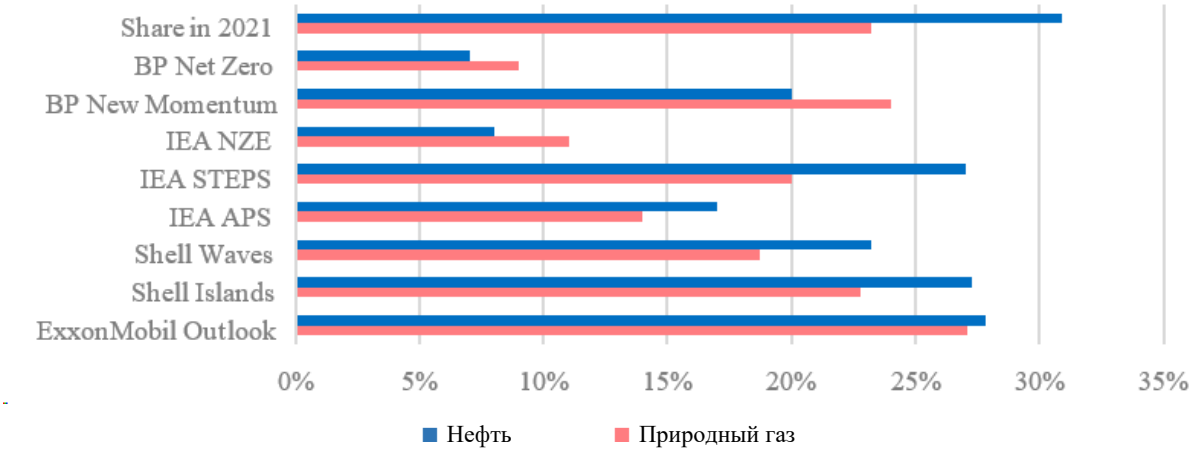


Рис. 3. Прогноз доли нефти и природного газа в мировом энергобалансе к 2050 году [3, 4, 29, 30]

Безусловно, несмотря на то, что данные прогнозы являются обоснованными аналитическими исследованиями, они имеют ряд существенных ограничений:

1. Аналитические агентства применяют разные методики составления прогнозов, поэтому их индивидуальное сравнение достаточно сложно, а в некоторых случаях некорректно [31].
2. Текущие прогнозы пока не в полной мере отражают изменение объема спроса на энергоресурсы и изменение структуры мирового энергобаланса, произошедшее в 2022 году.

Однако, несмотря на эти ограничения, представленные прогнозы в целом достаточно четко отражают высокий спрос на нефть и природный газ в ближайшем будущем, а также их определенное значение в более отдаленной перспективе. Поэтому, учитывая глобальный рост спроса на энергоносители, отказ от нефти и природного газа на ровном месте не рассматривается как приемлемый вариант с точки зрения глобальной энергетики. Это обстоятельство создает обоснованные перспективы для развития национальных нефтегазовых секторов в различных странах, в том числе и в России [17,32].

Несмотря на ограничения на продажу российских углеводородов на мировом рынке, Россия, как и прежде, остается ресурсно-ориентированной страной, главной задачей которой является удовлетворение внутреннего спроса на энергоресурсы. По данным Статистического обзора мировой энергетики БП 2022, годовая добыча в России составила: нефти – 536,4 млн т (12,7 % мировой добычи), природного газа – 701,7 млрд м^3 (17,4 % мировой) [4]. Доказанные запасы оцениваются в: нефти-14,8 млрд т (6,2 % мировой) и природного газа-37,4 трлн м^3 (20 % мировой) [4].

3.2. Проблемы и перспективы освоения нефтегазовых ресурсов России: инженерный подход

Значительная зависимость российской экономики от ресурсов нефти и природного газа ставит вполне резонный вопрос о возможности дальнейшего эффективного функционирования российского нефтегазового сектора в современных условиях. В рамках ответа на поставленный вопрос был проведен анализ проблем, влияющих на развитие российского нефтегазового сектора. Исходя их отраслевых документов, аналитических отчетов и научных публикаций были выделены шесть групп проблем: политико-правовые, экономические, геологические, технологические, организационные и кадровые.

Политико-правовые проблемы. К этой группе относятся такие проблемы, как усиление санкционного давления на Россию [33-35], сложная международная эпидемиологическая ситуация [36], сокращение добычи нефти в рамках соглашения ОПЕК+ [37], расширение специфической конкуренции между углеводородными ресурсами (развитие добычи сланцевой нефти и газа, производство СПГ) [13,38], Требования глобального энергетического перехода [15, 39-42], снижение спроса стран ЕС на российскую нефть, требования к «экологичности», развитие электромобилей, отказ от тяжелой нефти юралс в пользу более легкой персидской нефти [13, 43, 44] и т.д.

Экономические проблемы. К этой группе относятся такие проблемы, как неустойчивость спроса на нефть и природный газ [13], волатильность цен на мировых рынках нефти и природного

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

газа [37], рост инфляции на мировом и национальном уровнях [45], низкий уровень государственного финансирования инновационной и инвестиционной деятельности нефтегазовых компаний [46], рост себестоимости добычи углеводородов [47, 48], высокий уровень капиталоемкости добычи нефти и газа [49, 50], большая продолжительность инвестиционного и производственного циклов [13] и др.

Геологические проблемы. К этой группе относятся такие проблемы, как низкая обеспеченность традиционными запасами углеводородов (выработанность запасов, высокая обводненность) [12, 13, 51], сложные условия добычи углеводородов (включая высоковязкие нефти и природные битумы [52, 53], низкопроницаемые и сложные коллекторы [10], морские месторождения [54], арктические месторождения [55-58], месторождения газогидратов [59], газового конденсата [60, 61] и т.д.), низкие темпы воспроизводства минерально-сырьевой базы [12, 13].

Технологические проблемы. К этой группе относятся такие проблемы, как отсутствие современных видов оборудования и технологий на всех стадиях производственного цикла [13, 14, 49, 62], высокая импортозависимость нефтегазовых компаний [32, 43, 63, 64], низкий уровень технологического развития государства в целом [13, 49, 65, 66] и др.

Организационные проблемы. В эту группу входят такие проблемы, как неразвитость трубопроводной инфраструктуры для транспортировки нефти (особенно в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока) [67], географическая удаленность нефтегазовых объектов от центров потребления и экспортных коридоров [68], низкий уровень развития инфраструктуры регионов добычи углеводородов [68, 69], сложные природно-климатические условия в регионах их добычи [70], низкая гибкость принятия управленческих решений [47], большие масштабы и сложность нефтегазовых проектов [13, 27], конфликт интересов акционеров нефтегазовых компаний (государства и частного бизнеса) [71, 72], наличие барьеров доступа в отрасль, снижение заинтересованности в участии иностранных компаний с инновационными технологиями [5, 13, 73] и др.

Кадровые проблемы. В эту группу входят такие проблемы, как низкая квалификация сотрудников [74, 75], нехватка молодых специалистов [76, 77], высокая текучесть кадров [74, 76] и др.

Анализ рассмотренных групп проблем показал, что наиболее фундаментальной и значимой группой, влияющей на развитие российского нефтегазового комплекса, по мнению ведущих отраслевых экспертов, являются именно технологические проблемы [13, 14, 32, 46, 49]. Отсутствие современных отечественных технологий в российских нефтегазовых компаниях ограничивает их возможности по решению текущих отраслевых задач и повышению эффективности производственных процессов [78, 79]. Поэтому одним из возможных вариантов повышения технологического потенциала отечественных компаний является реализация инжиниринговых проектов, направленных на создание новых технологических решений [32, 43, 65].

В отличие от проектов создания стандартного технологического продукта, особенность технологических инжиниринговых проектов заключается в высокой доле риска неудачи внедрения. Технология, разработанная в рамках такого проекта, является потенциальной инновацией, в то время как создание инновационных продуктов сопряжено со значительной неопределенностью и возникновением ряда стандартных и, что более важно, нестандартных проблем. На практике реализации инжиниринговых проектов могут угрожать такие существенные проблемы, как неподтверждённые технологические гипотезы, низкая технологическая эффективность разработанного решения, превышение бюджета проекта, отставание от графика реализации и другие. Эти проблемы вызывают обоснованную необходимость применения системного подхода, основанного на эффективной реализации и управлении инженерными проектами.

Одним из наиболее эффективных подходов к управлению реализацией инженерных проектов является процесс оценки технологической готовности (ОТГ), который основан на определении зрелости разрабатываемой аппаратной или программной технологии [23, 24]. Инструменты процесса ОТГ позволяют оценить необходимый уровень технологических, экономических и организационных характеристик проектов, выявить их ключевые риски и разработать мероприятия по сокращению временных, финансовых и трудовых затрат. Актуальность рассматриваемых проблем для проектов нефтегазового машиностроения создает основу для разработки концептуальных основ управления их реализацией, первый этап которого начинается с изучения современных методов ОТГ.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

4. Методы оценки технологической готовности

4.1. УТГ и «этап-ворота»

На сегодняшний день используется значительное количество методов оценки технологической готовности (ОТГ), которые позволяют оценивать различные по своей природе проекты, а также оценивать различные аспекты (показатели) готовности этих проектов. Однако результаты исследования принципов, на которых основаны эти методы, позволяют сделать вывод, что большинство из них базируются на двух классических методах оценки технологической готовности – унифицированном методе оценки уровня технологической готовности УТГ [25] и методе «этап-ворота» [28].

Метод УТГ был предложен в 1970-х годах американским космическим агентством НАСА как ответ на проблему взаимодействия различных подразделений и синхронизации их результатов при разработке технологий для космических систем. Возникшая проблема показала, что разработка высокотехнологичных систем жестко зависит от синхронности развития определенных необходимых технологий и, если синхронизация не является оптимальной, это коренным образом влияет на производительность, планирование и бюджет [80]. Метод УТГ построен на подходе линейного инновационного цикла: развитие отдельной технологии от стадии исследования до интеграции с другими технологиями в единый высокотехнологичный сложный продукт осуществляется на основе 9-уровневого отложения готовности (Рис. 4).

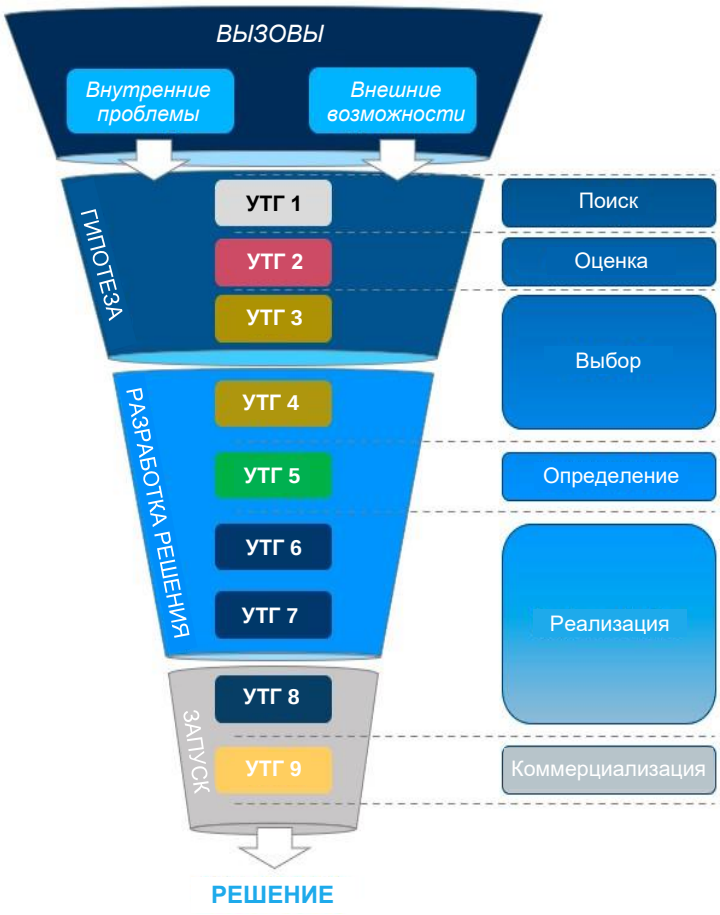


Рис. 4. Обзор отложения УТГ. Источник: разработано авторами

Данный метод вполне достаточен для оценки готовности технологии на базовом уровне, однако, несмотря на очевидные преимущества, УТГ имеет ряд принципиальных ограничений:

- Отсутствие рекомендаций по использованию метода – источники дают рекомендации о необходимости его использования, но не предлагают содержательных указаний по специфике применения [26, 81].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

- Субъективность оценки – не существует формального метода применения УТГ; значение УТГ присваивается технологии разработчиком, что может быть необъективным; а определения каждого уровня УТГ имеют тенденцию к широкому толкованию [82].
- Недостаточно подробная оценка – одно отложение не может полностью охватить весь спектр вопросов, возникающих в процессе создания технологии [26, 83] и т. д.

Учитывая представленные ограничения, метод УТГ рекомендуется использовать в сочетании с другими надежными и объективными методами оценки зрелости технологий для принятия обоснованных решений [26].

В основе разработки метода «этап-ворота» также лежала необходимость систематизировать и повысить эффективность процесса создания высокотехнологичных решений, реализованных в рамках крупных проектов в машиностроении и химической промышленности США в середине XX века. Создатель метода «этап-ворота» Роберт Купер назвал его «концептуальной и операционной картой для продвижения проектов новых продуктов от идеи до запуска и далее». Основное внимание в методе уделяется управлению процессом разработки нового продукта (РНД), направленному на повышение эффективности и результативности этого процесса, поскольку результаты некоторых исследований подтверждают случайный и несистематический характер процесса создания новых продуктов во многих компаниях [28]. Процесс создания нового продукта в рамках метода «этап-ворота» основан на прохождении определенного количества «этапов» (обычно 4-6), которые разделены «воротами», где оцениваются промежуточные результаты проекта (рис. 5).

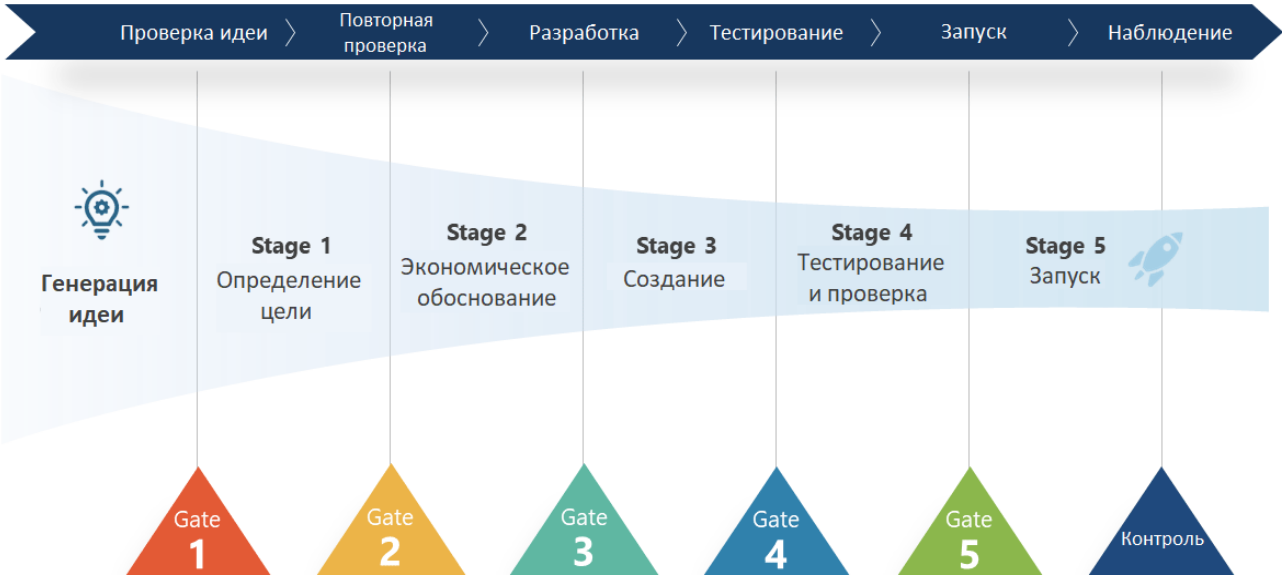


Рис. 5. Обзор процесса «этап-ворота» (Stage-Gate) [84]

Первые этапы направлены на выявление возможностей и генерирование идей, а последующие – на разработку, тестирование и запуск [85]. Этапы, как правило, являются кросс-функциональными, причем каждый вид деятельности осуществляется параллельно с другими, чтобы ускорить время выхода на рынок. Ворота действуют как фильтры и помогают принять решение о том, какие действия следует предпринять в отношении проекта – начать, задержать, переработать или уничтожить. Решение принимается на основе критериев оценки достигнутых результатов (например, могут использоваться такие целевые критерии, как соответствие стратегии, ожидаемая финансовая отдача и использование в проекте ключевых компетенций компании) [86].

Логика метода «этап-ворота» во многом схожа с логикой метода УТГ, поэтому ограничения УТГ актуальны и для метода «этап-ворота».

4.2. Другие методы оценки технологической готовности

Научно-технический прогресс и сопутствующее ему усложнение технологических процессов и создаваемых инновационных продуктов систематически приводили к изменению требований к оценке технологической готовности и необходимости адаптации классических методов реализации

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

проектов. Экспертами был проведен значительный объем исследований, направленных на разработку инструментов и методов, позволяющих получить представление о готовности технологий и отслеживать их зрелость на протяжении всего жизненного цикла разработки для обеспечения непрерывного управления рисками и улучшения поддержки принятия решений. В большинстве своем существующие методы либо дополняют и расширяют УТГ, либо объединяют другие показатели с УТГ, чтобы получить более полное представление о технологии и уровне ее готовности. Для целей данного исследования все методы были разделены на качественные и количественные.

В группу качественных вошли следующие 10 методов: Уровень производственной готовности (УПГ), Уровень готовности к интеграции (УГИ), Уровень готовности к рынку /Уровень готовности к коммерциализации (УГР/УГК), Готовность к масштабированию (ГМ), Уровень нормативной готовности (УНГ), Уровень готовности к передаче технологии (УГПТ), Уровень технологической готовности для программного обеспечения (УТГ(ПО)), Показатель Мурхауса, Степень сложности НИОКР (Исследования и создание: степень сложности ИС^3), Повышенная степень сложности НИОКР (ПС^2). Подробное описание методов представлено в таблице 1.

Качественные методы оценки готовности технологий являются удобным инструментом, поскольку позволяют проводить анализ в короткие сроки и со значительным числом итераций, однако они существенно зависят от неявных знаний, что подвергает результаты оценки высокой степени субъективности. Хотя идея метрик, основанных на определениях, обеспечивает гибкость и простоту использования, описания могут быть истолкованы расширительно, что приводит к неточным оценкам.

Таблица 1

Качественные методы оценки технологической готовности

Метод	Сокр.	Описание	Источник
Уровень производственной готовности	УПГ	Определяет текущий уровень готовности технологии к производству, выявляет недостатки готовности и определяет сопутствующие риски при переходе от технологии к производству	[87, 88]
Уровень готовности к интеграции	УГИ	Измеряет готовность и совместимость интерфейсов между различными технологиями, последовательно сравнивает зрелость интерфейсов между несколькими точками интеграции и уменьшает неопределенность, связанную с разработкой и интеграцией технологий в систему	[89]
Уровень готовности к рынку/уровень готовности к коммерциализации	УГР/ УГК	Определяет готовность технологии к выходу на рынок в качестве коммерческого предложения для группы потребителей	[90, 91]
Готовность к масштабированию	ГМ	Отражает готовность технологии к достижению определенного эффекта в масштабе в конкретном контексте	[92]
Уровень нормативной готовности	УНГ	Отражает надежность нормативной поддержки процесса разработки технологии и эффективность этой поддержки в разработке необходимых нормативных актов	[93, 94]
Уровень готовности к передаче технологий	УГПТ	Описывается процесс передачи технологии, который заключается в выявлении нового подходящего применения технологии и ее последующей адаптации, а также решается проблема передачи технологии из одной отрасли в другую	[95]
УТГ для программного обеспечения	УТГ (ПО)	Характеризует уровень зрелости технологии программного обеспечения, включая другие атрибуты, характерные для разработки программного обеспечения	[23]
Метрика риска Мурхауса в сравнении с метрикой УТГ	МРМ	Отражает регрессию риска в связи с ростом технологической готовности	[96]
Исследования и создание: степень сложности	ИС^3	Отражает степень сложности перехода технологии с одного уровня готовности на другой и включает пять уровней сложности	[97]
Повышенная степень сложности	ПС^2	Оценивает сложность перевода технологии с текущего уровня готовности на желаемый по 9-уровневой шкале	[98]

Источник: разработано авторами.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

В группу количественных методов входят пять следующих: Уровень готовности системы (УГС), Методология интегрированного анализа технологий (МИАТ), Оценка готовности и рисков технологии (TRRA), Показатель внедрения технологии (ПВ) и Уровень готовности технологического проекта (УГТП). Подробное описание этих методов представлено в таблице 2.

Количественные методы, по сравнению с качественными, более объективны и точны, но их использование может потребовать значительного количества времени и трудозатрат при многократном применении. Разработка ошибочной математической модели может привести к неверной оценке зрелости технологии, перерасходу средств и задержкам графика. Однако количественные методы часто объединяют несколько системных показателей, что приводит к ощутимым результатам в оценке готовности технологии и в последующем принятии решений.

Выбирая метод для оценки готовности технологии, необходимо понимать, что универсальных методик не существует. Отраслевая специфика проектов, различия в целях, требованиях, ресурсах, финансировании, сроках и других характерных особенностях проектов создают основу для разработки отдельных методических баз оценки готовности проектов в каждой отдельной отрасли, сфере, компании.

Таблица 2

Количественные методы оценки готовности технологий

Метод	Сокр.	Описание	Источник
Уровень системной готовности	УГС	Определяет уровень готовности технологии, а также степень ее готовности к интеграции в систему, на основе нормализованной матрицы попарных сравнений систем УТГ и УГИ	[81, 99]
Методология комплексного анализа технологий	МИАТ	Отражает совокупную зрелость системы на основе готовности составляющих ее технологий и учитывает УТГ, дельта УТГ, степень сложности НИОКР ($ИС^3$) и значения потребности в технологиях (ЗПТ).	[100]
Готовность технологий и оценка рисков	ГТОР	Оценивает влияние рисков на создание технологии и учитывает УТГ, $ИС^3$ и ЗТП	[101]
Показатель внедрения технологий	ПВ	Отражает степень интеграции новой подсистемы в существующую основную систему и взаимодействие между системой и подсистемой для улучшения общей производительности	[99]
Уровень готовности технологического проекта	УГТП	Отражает уровень комплексной готовности проекта на основе сбалансированного подхода, учитывающего шесть ключевых критериев – УТГ, УПГ, УГИ, УГО, УВР и УГК	[83, 102]

Источник: разработано авторами.

5. Концептуальная схема управления реализацией проекта в нефтегазовом инжиниринге

Основными требованиями к современным методам оценки технологической готовности являются:

- всесторонняя оценка готовности технологического решения;
- высокая степень детализации оценки;
- универсальная структура модели;
- достаточный уровень объективности (за счет формального учета результатов проекта на основе подтверждающих документов);
- возможность адаптации отложения к требованиям конкретной отрасли или проекта без нарушения общей структуры;
- наличие инструментов для мониторинга эффективности и рейтинга проектов при принятии управленческих решений.

Учитывая эти требования, авторы предлагают концептуальную схему управления реализацией нефтегазовых инжиниринговых проектов, основанную на применении:

1. экспертно-обоснованного набора индикаторов готовности для комплексной оценки готовности проекта;
2. рамок комплексной оценки готовности инжиниринговых проектов, включающей матричную модель учета достигнутых результатов проекта (на основе выбранных показателей готовности) и аналитическую модель оценки интегрального индекса готовности;
3. алгоритма принятия управленческих решений по реализации инженерных проектов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

5.1. Показатели готовности инженерных проектов

На основе рассмотренных методов ОТГ были определены 14 показателей готовности. По результатам серии интервью с отраслевыми экспертами, а также анализа информационно-аналитических данных об опыте использования выбранных показателей готовности была проведена предварительная оценка их применимости в модели комплексной оценки готовности инжиниринговых проектов (табл. 3). Показатели готовности, рекомендуемые к использованию в модели, выделены зеленым цветом, «ситуационные» показатели – оранжевым, не рекомендуемые – синим.

Таблица 3

Предварительная оценка применимости отдельных показателей готовности в модели для комплексной оценки нефтегазовых инжиниринговых проектов

Показатель	Сокр.	Описание	Применимость
Уровень технологической готовности	УТГ	Основной критерий оценки готовности инженерных проектов, отражающий текущий этап развития той или иной технологии	Рекомендована к использованию в модели на основе успешного опыта ее применения ведущими компаниями (Гугл, Джон Дир и др.) и нефтегазовыми компаниями (БП, Газпромнефть)
Уровень производственной готовности	УПГ	Отражает текущий уровень готовности производства к выпуску конкретной технологии	Рекомендуется для использования в модели, так как определяет особенности производственного процесса разрабатываемой технологии
Уровень готовности к интеграции	УГИ	Отражает возможность «включения» новой технологии в существующую систему для ее эффективного функционирования	Проекты нефтегазового инжиниринга в основном направлены на создание сложных технологических решений (технологии гидроразрыва пласта, добыча трудноизвлекаемых запасов и т.д.), не требующих интеграции с другими производственными системами
Уровень инженерной готовности	УИГ	Отражает текущий уровень инженерной поддержки процесса создания технологии	Индикатор частично дублирует другие рассматриваемые индикаторы (УТГ, УПГ и УГО), поэтому его использование нецелесообразно
Уровень готовности организации	УГО	Отражает текущий уровень организации процесса создания технологии	Рекомендуется для использования в модели, так как создает основу для структурирования и определения взаимосвязей всех процессов для реализации проекта
Выгоды и риски	УВР	Отражает конкурентные преимущества и основные риски, связанные с созданием конкретной технологии	Не стоит объединять все группы выгод и рисков в одну категорию, поскольку удобнее управлять и учитывать каждую из них в рамках отдельного показателя готовности
Уровень готовности к коммерциализации	УГК	Отражает готовность разработанной технологии к выводу на рынок	Рекомендуется для использования в модели, так как позволяет выявить риски коммерциализации технологии, подготовить план их решения, повысить эффективность вывода технологии на рынок и ее потенциальный экономический эффект
Готовность к масштабированию	ГМ	Отражает готовность разработанной технологии к достижению конкретного эффекта в масштабе	Проекты нефтегазового инжиниринга в первую очередь направлены на решение конкретной технологической задачи, которая не всегда приобретает массовый характер. Включение показателя в модель нецелесообразно, так как низкая способность технологии к масштабированию может привести к замедлению процесса ее создания и задержке решения актуальной отраслевой проблемы
Уровень нормативной готовности	УНГ	Отражает степень надежности нормативной поддержки процесса разработки технологии	Рекомендуется для использования в модели, так как является гарантом соблюдения авторских прав и потенциальным инструментом создания стратегических конкурентных преимуществ компании

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Показатель	Сокр.	Описание	Применимость
Уровень готовности к передаче технологий	УГПТ	Определяет возможность передачи технологии из одной системы в систему с другим механизмом функционирования, что наиболее актуально для межпрофильных технологий	Создание новых технологий в нефтегазовом комплексе в основном основано на использовании внутриотраслевых технологий, однако на современном этапе широко используются и не нефтегазовые технологии (Интернет вещей, искусственный интеллект и т.д.). Поэтому предлагается факультативное использование показателя в зависимости от конкретной ситуации.
УТГ для программного обеспечения	УТГ (ПО)	Отражает текущую стадию развития определенной программной технологии на основе атрибутов, характерных для программных продуктов	
Метрика риска Мурхауса в сравнении с метрикой УТГ	МРМ	Характеризует регрессию риска в связи с прогрессией технологической готовности проекта; является производным показателем от УТГ	
Исследования и создание: степень сложности	ИС[3]	Отражая сложность перехода проекта с одного уровня технологической готовности на другой, они представляют собой дополнения к УТГ (отличаются количеством уровней – ИС[3] включает пять уровней сложности, а ПС[2] – девять уровней)	
Повышенная степень сложности	ПС[2]		

Источник: разработано авторами.

Для более обоснованного выбора показателей готовности была дополнительно проведена серия анкет, в которых выбранные эксперты должны были однозначно определить необходимость использования каждого из предложенных показателей в модели (Приложение Б). Результаты анкетирования представлены на рисунке 6.

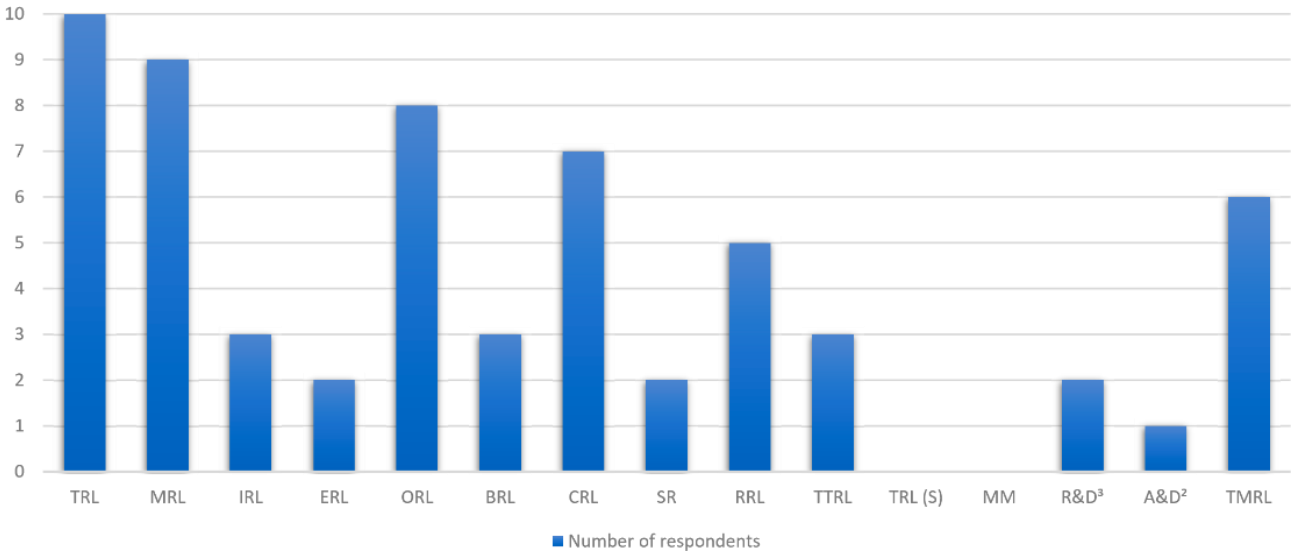


Рис. 6. Применимость отдельных показателей готовности в модели комплексной оценки нефтегазовых инжиниринговых проектов

На основе анализа результатов анкетирования был сформирован набор из шести показателей готовности инжиниринговых проектов, необходимых для комплексной оценки основных направлений развития проекта и готовности проекта в целом (авторами были отобраны показатели, которые отметили 50 % и более респондентов):

1. Уровень технологической готовности (УТГ)
2. Уровень производственной готовности (УПГ)
3. Уровень готовности организации (УГО)
4. Уровень готовности к коммерциализации (УГК)
5. Уровень нормативной готовности (УНГ)
6. Уровень готовности команды (УГК)

Уровень готовности команды не был предложен в первоначальном списке показателей, но был отмечен как необходимый критерий 60 % респондентов в связи с его значительным влиянием на процесс принятия решений по реализации проекта.

Для корректного применения выбранных показателей было подробно описано функциональное назначение каждого из них (табл. 4).

Исходя из функционального назначения, было разработано определение уровней зрелости для каждого показателя (Приложение В). Реализация проекта по направлению каждого индикатора готовности осуществляется на основе классического 9-уровневого отложения.

5.2. Структура комплексной оценки готовности проектов нефтегазового инжиниринга

В качестве основы для разработки структуры комплексной оценки готовности проектов нефтегазового инжиниринга была выбрана методология УГТП (Уровень готовности технологического проекта), описанная в [83, 102]. Данная методология позволяет провести сквозную комплексную оценку готовности проекта на основе использования многокритериальной системы показателей, включающей технологическую готовность (УТГ), производственную готовность (УПГ), инженерную готовность (УИГ), организационную готовность (УГО), выгоды и риски (УВР), готовность к рынку и коммерциализации (УКГ). УГТП используется: 1. для применения сбалансированного подхода к оценке готовности как проекта в целом, так и отдельных показателей проекта; 2. для выявления неопределенностей проекта и его ключевых рисков; 3. для простого и объективного представления уровня зрелости проекта для следующего раунда инвестиций в единых терминах [83].

Предлагаемая в данной работе схема комплексной оценки включает в себя две составляющие: модель учета достигнутых результатов проекта (на основе выбранных показателей готовности) и аналитическую модель оценки интегрального показателя готовности.

Модель учета достигнутых результатов проекта основана на матричной структуре (Рис. 7). В столбцах представлены показатели готовности, а в строках – уровни зрелости показателей. Каждый из уровней имеет четырехуровневую структуру.

Для достижения определенного уровня готовности необходимо последовательно пройти все подуровни УТГ, в рамках каждого из которых необходимо решить перечень ключевых задач. Выполнение каждой поставленной задачи подтверждается соответствующим документом, например, проведение лабораторных испытаний подтверждается получением акта, удостоверяющего проведение лабораторных испытаний. Результат решения задачи бинарный: документ получен – 1, документ не получен – 0. Динамика прохождения подуровней и уровней измеряется от 0 до 1, в зависимости от успешности решения задач внутри подуровня и пройденных подуровней внутри того же уровня.

Числовой результат оценки готовности проекта определяется аналитической моделью оценки интегрального индекса готовности. Интегральный индекс готовности рассчитывается на основе значений индексов всех показателей и их весовых коэффициентов. Вид зависимости весовых коэффициентов и значений индексов готовности показателей может быть установлен экспертами отдельно для каждой конкретной решаемой задачи. В целях упрощения авторы приняли в статье одинаковый вес для всех коэффициентов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Для численного расчета интегрального показателя готовности проекта могут использоваться различные алгоритмы, однако выбор конкретного из них не влияет на общую методологию, так как основной принцип оценки основан на учете значений всех индивидуальных показателей готовности. Для целей данной статьи была выбрана следующая аналитическая модель [83]:

$$I = E + \overline{K} \cdot P_L, \quad P_L = p_{L_1} \cdot p_{L_2} \cdot p_{L_3} \cdot p_{L_4} \cdot p_{L_5} \cdot p_{L_6} \tag{1}$$

где E – максимальный уровень готовности, достигнутый по всем показателям; $\overline{K}$ – среднее значение дробных частей показателей на уровне E + 1; P_L – вероятность выполнения всех заданий на уровне E + 1 (обозначается как L); p_{Lm} – вероятность выполнения всех заданий на уровне L по показателю готовности m.

Таблица 4

Функциональное назначение выбранных показателей готовности

Индикатор	Функциональное назначение
УТГ	• Определяет уровни разработки и тестирования технологий от стадии генерации идеи до внедрения готового технологического решения • Отражает статус тестирования технологии от проверки отдельных критических функций до полной проверки работоспособности, как в лабораторных условиях, так и в реальных условиях функционирования технологической системы • Подтверждает текущий статус готовности элементов и технологий в целом
УПГ	• Определяет готовность к созданию технологического производства от уровня макета до промышленного образца • Отражает степень интеграции производственного процесса в существующие производственные цепочки (процессы, материалы, оборудование, инфраструктура и сотрудники) • Демонстрирует создание эффективного производства (опытного, прототипа и серийного), включая систему контроля качества и поставки материалов и компонентов
УГО	• Отражает ход согласования технических характеристик разработанного решения с потенциальными заказчиками • Отражает состояние согласования концепции применения технологии со всеми задействованными лицами (подразделениями подрядчика и внешними организациями, включая поставщиков, субподрядчиков и заказчиков) • Отражает завершение внесения изменений и корректировок в проект по результатам испытаний и переговоров с заказчиками • Подтверждает принятие основных решений, разработку оперативных планов и демонстрацию системы поддержки технологического обслуживания • Показывает результат обучения персонала партнера для передачи технологии заказчику
УГК	• Определяет состав команды на всех этапах реализации проекта • Подтверждает наличие необходимых компетенций у членов проектной команды на каждом уровне проекта • Отражает процесс коммуникации членов команды проекта на различных его этапах
УГК	• Отражает результат оценки рынка с учетом цены и потребительских качеств выводимых на рынок технологий конкурентов • Отражает стадию разработки бизнес-модели коммерциализации технологии • Фиксирует организацию двустороннего обмена информацией с потенциальными заказчиками с целью получения обратной связи о заинтересованности и уточнения требуемых характеристик технологии • Отражает постепенную адаптацию модели ценообразования в соответствии с развитием бизнес-модели
УНГ	• Выявляет патентоспособные изобретения или другие РИД • Подтверждает новизну рассматриваемого РИД • Отражает стадию государственной регистрации патента на интеллектуальную собственность • Определяет этап реализации стратегии защиты прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Источник: разработано авторами с использованием [83, 94, 102, 103].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

DOI: 10.3390/resources12060064



2	Структура аналогична уровню 1	Структура аналогична уровню 1
...	Структура аналогична уровню 1	Структура аналогична уровню 1
9	Структура аналогична уровню 1	Структура аналогична уровню 1

Рис. 7. Структура структуры комплексной оценки

Выбор модели обоснован учетом фактора вероятности достижения целевых значений показателей готовности. В связи с тем, что инженерные проекты имеют высокую степень неопределенности в получении технологического и экономического эффекта, учет фактора вероятности позволяет более точно оценить текущее состояние проекта, что является основой для принятия обоснованных управленческих решений по его дальнейшей реализации.

На первом этапе определяется целочисленный показатель E, соответствующий наименьшему достигнутому уровню готовности среди всех показателей. На втором шаге определяется дробная часть индекса путем вычисления среднего значения дробных частей индексов показателей для уровня E + 1. На третьем шаге определяется вероятность достижения всех требований к проекту на уровне E + 1 (P_L) путем вычисления произведения вероятностей (p_{Lm}) при изменении m от 1 до 6 с учетом предположения о независимости показателей. Форма зависимости между P_L и p_{Lm} является предметом отдельного обсуждения, не влияющего на содержание предлагаемой модели, поэтому в данной работе она подробно не рассматривается.

Для наглядного отражения результатов оценки рекомендуется использовать лепестковую диаграмму (рис. 8).

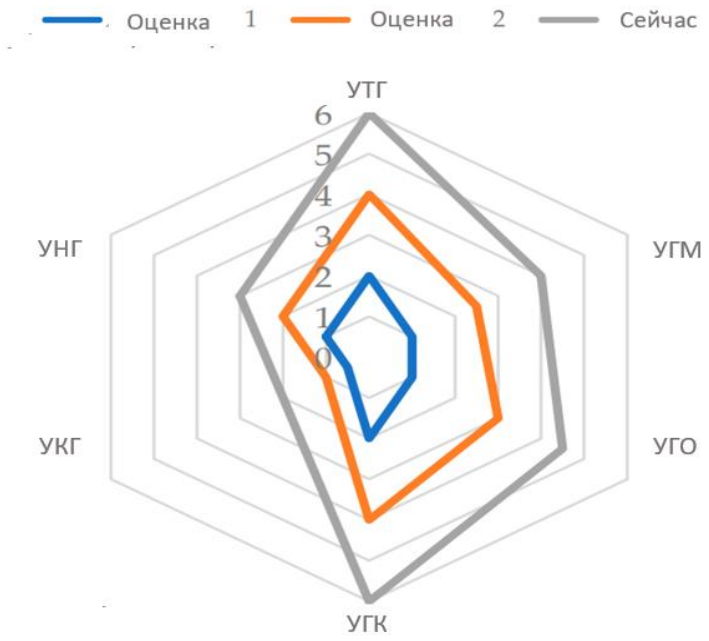


Рис. 8. Пример представления результатов оценки готовности проекта

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Сбалансированное развитие проекта достигается при одновременном развитии всех показателей готовности, которые графически соответствуют правильному шестиугольнику. В рассмотренном примере администраторам проекта необходимо обратить внимание на две проблемные области: УКГ и УНГ. УПГ и УГО также отстают от УТГ и УГК.

5.3. Алгоритм принятия управленческих решений по реализации инженерных проектов

Одним из ключевых аспектов управления реализацией инженерного проекта является специфика процесса принятия решений о дальнейшем «движении» проекта, а точнее, принцип перехода проекта с одного уровня готовности на другой. Успешный переход проекта на новый уровень готовности является маркером завершения всех задач, поставленных на текущем уровне, в то время как утилизация, приостановка или «убийство» проекта свидетельствует о существенных недостатках и проблемах в процессе реализации.

На основе отобранных показателей готовности и предложенной схемы комплексной оценки готовности авторы разработали алгоритм принятия управленческих решений по реализации инженерного проекта (рис. 9).

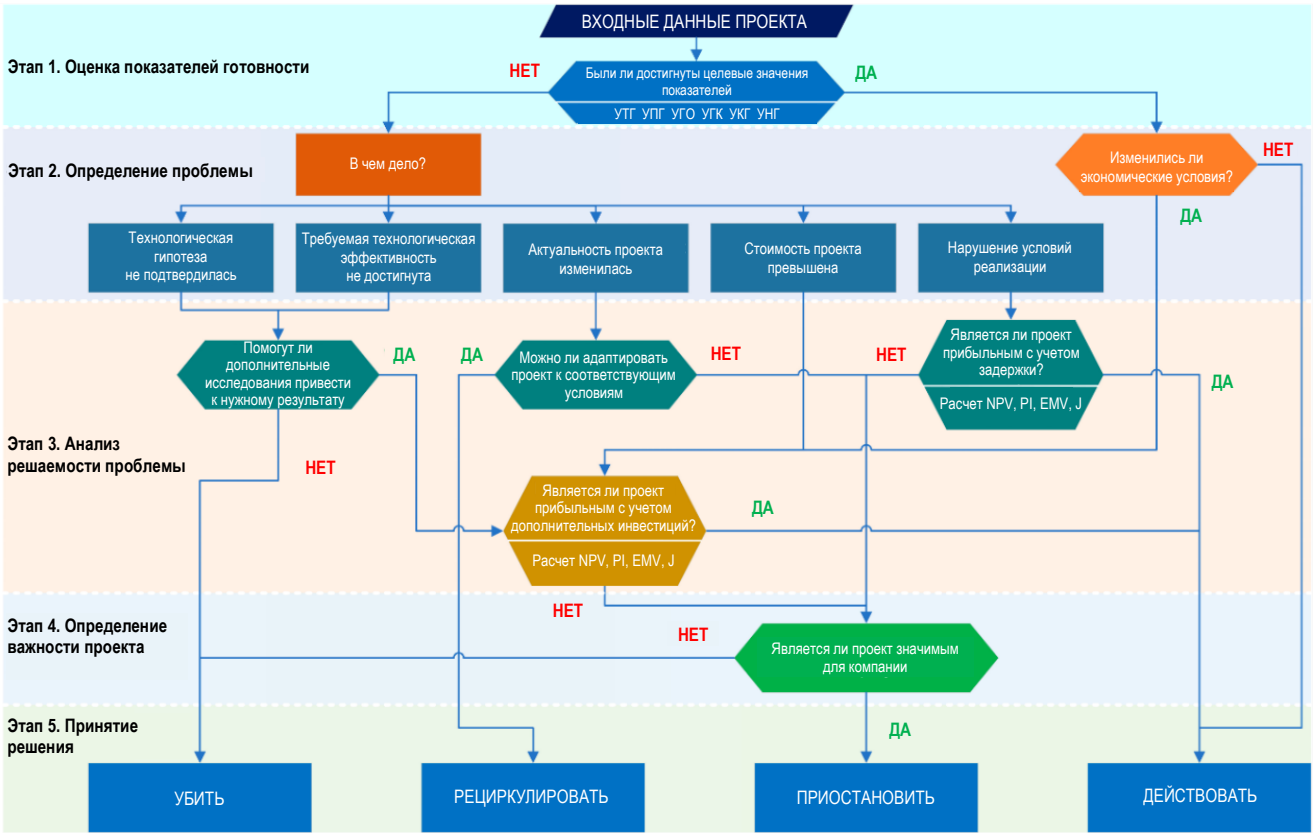


Рис. 9. Алгоритм принятия управленческих решений по реализации инженерного проекта

Процесс принятия решений на основе данного алгоритма можно разделить на пять этапов:

1-й этап – оценка выполнения текущих требований к уровню готовности

2-й этап – идентификация проблемы

3-й этап – анализ решаемости проблемы

4-й этап – определение важности проекта

5-й этап – принятие обоснованных решений

Этап 1. На этом этапе входные параметры проекта оцениваются на основе выполнения всех требований на текущем уровне готовности. Если уровни всех показателей готовности соответствуют запланированным, то оценивается текущая экономическая среда проекта; если она не изменилась, то проект переходит на следующий уровень; если изменилась, то оценивается целесообразность продолжения проекта.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Этап 2. Для проектов, не достигших целевых уровней готовности по показателям, проводится анализ проблем.

Этап 3. На этом этапе проводится анализ решаемости проблемы – возможно ли с учетом предложенного решения проблемы адаптировать проект к соответствующим условиям, выгодно ли продолжать проект, помогут ли дополнительные исследования достичь желаемого результата? Если технологическая гипотеза не подтвердилась или не достигнута требуемая технологическая эффективность, а дополнительные исследования не приведут к требуемому результату, проект необходимо «убить», в противном случае он продолжается.

Этап 4. Для проектов с проблемами, которые не могут быть эффективно решены в текущих условиях и не лежат в технологической плоскости, важность проекта оценивается как контрольная характеристика для «убийства» проекта или его удержания до наступления благоприятных условий.

Этап 5. На этом этапе, в зависимости от текущего состояния проекта, принимается решение о дальнейшем движении проекта – «убить», переработать, задержать или продолжить.

Применение предложенного алгоритма потенциально позволит нефтегазовым компаниям более точно ориентироваться при принятии решений по проекту в его контрольных точках, разработать внутренние механизмы реагирования на различные проблемы, снизить риски и повысить эффективность реализации инженерных проектов.

6. Обсуждение

Потребность в эффективном освоении энергетических ресурсов влечет за собой необходимость создания комплексных технологических решений, способных ответить на современные вызовы отрасли и способствовать реализации стратегических возможностей нефтегазовых компаний. В практике нефтегазовых компаний создание необходимых технологий осуществляется путем реализации инжиниринговых проектов, эффективность которых во многом зависит от применяемого подхода к управлению.

Анализ подходов к управлению реализацией инжиниринговых проектов позволил сделать вывод, что наиболее часто используется процесс ОТГ, направленный на оценку готовности разрабатываемой технологии, включая требуемые уровни технологических, экономических и других характеристик. В рамках этого процесса было разработано значительное количество методов оценки готовности технологии, наиболее распространенными из которых являются УТГ и «этап-ворота». Опыт их использования свидетельствует об их значительном успехе в оценке готовности инженерных проектов на самом базовом уровне, однако усложнение современных технологических процессов и появляющихся инновационных технологий выявляет ряд существенных ограничений – отсутствие комплексного представления о процессе оценки готовности, низкий уровень точности оценки, отсутствие рекомендаций по применению и т.д.

На основе более детального обзора литературы авторы исследовали большое количество методов оценки готовности, в результате чего была разработана концептуализация системы управления реализацией проектов нефтегазового инжиниринга.

Данный фреймворк призван решить актуальную проблему эффективной реализации нефтегазовых инжиниринговых проектов, учитывая имеющиеся преимущества перед другими методами, однако на практике его использование может быть отмечено рядом недостатков и ограничений. Перечень основных преимуществ, недостатков и ограничений данного метода представлен в таблице 5.

Таблица 5

Преимущества и недостатки предлагаемой концептуальной схемы управления

Преимущества	Недостатки и ограничения
• Точная и объективная оценка уровня зрелости проекта • Возможность более детальной оценки динамики реализации проекта (интегральный индекс готовности) • Успешный опыт применения комплексных методов ОТГ (на примере методологии УГТП) при реализации разноплановых инженерных проектов	• Сложный и длительный процесс оценки • Отсутствие опыта применения комплексных методов ОТГ (в частности, предлагаемого) при реализации нефтегазовых инжиниринговых проектов • Выбор показателей готовности для модели осуществлялся с учетом опыта только российских нефтегазовых компаний

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

В отличие от большинства рассмотренных методов, данная схема позволяет проводить комплексную оценку инженерного проекта по различным показателям готовности, а также более детальный динамический мониторинг реализации проекта; однако процесс оценки может оказаться более сложным и затратным по времени и привлеченным человеческим ресурсам, чем тот же УТГ. Комплексные методы ОТГ апробированы и успешно применяются для оценки готовности различных инженерных проектов (пример – методология УГТП), однако на данный момент нет информации об использовании подобных методов (и конкретно предлагаемых) в нефтегазовой отрасли. Определенным ограничением для применения предложенной системы является возможность создания специфического набора показателей готовности, который был обоснован экспертным методом с привлечением специалистов только из российских нефтегазовых компаний. Однако стоит отметить, что набор показателей не является статичным и может быть подобран в соответствии с поставленной задачей, поэтому это не влияет на общность предложенного фреймворка.

Что касается будущих направлений исследований, то авторы сосредоточатся на:

- детализации структуры показателей оценки и учета результатов проекта;
- обосновании аналитических зависимостей при расчете интегрального индекса готовности;
- применении предложенного фреймворка для оценки экономической эффективности проектов и ранжирования портфеля проектов с точки зрения целей компании;

По результатам формализованной методики необходимо провести ее апробацию на конкретных проектах нефтегазового инжиниринга.

7. Выводы

В данном исследовании рассматривается необходимость качественного управления реализацией проектов нефтегазового инжиниринга, направленных на создание современных технологических решений, которые позволят более эффективно разрабатывать месторождения нефти и энергоресурсов природного газа и станут основой для создания устойчивых конкурентных преимуществ нефтегазовых компаний. На основе анализа мировых энергетических тенденций и прогнозов обоснована необходимость развития национальных нефтегазовых комплексов как источников обеспечения глобального спроса на энергоресурсы, что актуализирует значимость нефтегазовой отрасли для российской экономики и создает основу для решения ее актуальных внутренних задач. Преобладающее количество технологических проблем подтверждает необходимость разработки современных отраслевых технологий, эффективное создание которых базируется на реализации проектов нефтегазового инжиниринга и их эффективном управлении. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Эффективное управление реализацией инжинирингового проекта должно основываться на всесторонней и объективной оценке готовности технологии и возникающих рисков на всех этапах жизненного цикла создания технологии.

2. Большинство современных методов ОТГ основаны на принципах двух классических методов-УТГ и «этап-ворота», которые могут успешно применяться для оценки готовности технологии на базовом уровне, однако сложность современных технологических процессов и появляющихся инновационных технологий подтверждает ограниченность возможностей их применения и необходимость адаптации.

3. Современные методы оценки готовности инженерных проектов должны отвечать определенным требованиям, в частности: 1. позволять всесторонне и детально оценивать текущий уровень зрелости технологии; 2. иметь универсальную структуру; 3. осуществлять формализованный контроль за результатами проекта и обладать достаточным уровнем объективности; 4. иметь возможность адаптировать отложение в соответствии с требованиями конкретной отрасли или проекта (не нарушая общей структуры); 5. иметь инструменты для мониторинга эффективности проекта и рейтингования при принятии управленческих решений.

4. Наиболее актуальными показателями для оценки готовности проектов нефтегазового инжиниринга являются:

- уровень технологической готовности (УТГ)
- уровень производственной готовности (УПГ)

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

- уровень готовности организации (УГО)
- уровень готовности команды (УГК)
- уровень готовности к коммерциализации (УКГ)
- уровень нормативной готовности (УНГ)

По мнению экспертов российских нефтегазовых компаний, эти показатели полностью охватывают процесс реализации инжинирингового проекта и позволяют наиболее полно оценить текущий уровень готовности технологии.

5. Для эффективной реализации инжинирингового проекта принятие управленческих решений по проекту должно осуществляться на основе 5-этапного алгоритма, включающего: 1. оценку выполнения требований к текущему уровню готовности; 2. выявление проблемы; 3. анализ решаемости проблемы; 4. определение важности проекта; 5. принятие обоснованного решения.

Вклад авторов: *концептуализация, П.Ц., Н.Р. и А.Н.; методология, П.Ц., Н.Р. и А.Н.; программное обеспечение, П.Ц.; проверка данных, П.Ц. и Н.Р.; формальный анализ, П.Ц.; исследование, П.Ц. и А.Н.; ресурсы, П.Ц. и А.Н.; обработка данных, Н.Р.; написание – подготовка первоначального проекта, П.Ц. и А.Н.; написание – рецензия и редактирование, П.Ц., Н.Р. и А.Н.; визуализация, П.Ц.; руководство, Н.Р.; администрирование проекта, Н.Р. Все авторы прочитали и согласились с опубликованной версией рукописи.*

Финансирование: *Данное исследование не получало внешнего финансирования.*

Заявление о доступности данных: *Совместное использование данных не предусмотрено.*

Конфликты интересов: *Авторы не заявляют о конфликте интересов.*

Приложение А

Анкета по аспектам реализации нефтяных и инженерных проектов

1. Представьтесь, пожалуйста, и расскажите о своем опыте реализации инженерных проектов, в частности, проектов в нефтегазовой отрасли.
2. Каковы основные цели реализации нефтегазовых инжиниринговых проектов?
3. Какие этапы реализации инжиниринговых проектов выделяются на практике?
4. С какими проблемами сталкиваются сегодня компании при реализации инжиниринговых проектов?
5. Какие методы реализации инжиниринговых проектов используются сегодня в нефтегазовых компаниях? Знакомы ли вы с такими методами, как уровень технологической готовности (УТГ) и «этап-ворота «? Используются ли они в вашей компании?
6. Как вы считаете, можно ли решить ряд актуальных технологических проблем нефтегазовых компаний, если при реализации проектов использовать подход для комплексной оценки зрелости технологии, включающий помимо УТГ и другие показатели готовности (например, УПГ (уровень производственной готовности), УКГ (уровень готовности к коммерциализации) и др. Если да, то какие показатели, по вашему мнению, следует использовать?

Благодарим вас за участие!

Приложение Б

Анкета по аспектам реализации нефтяных и инжиниринговых проектов

ФИО

Возраст

Должность

Место работы

Уважаемые коллеги!

Просим вас принять участие в анкетировании, направленном на определение показателей, которые необходимо учитывать в рамках комплексной оценки готовности проектов нефтегазового инжиниринга. Выберите необходимые показатели из предложенного списка или предложите свои, кратко описав их функциональную роль (табл. А1).

Спасибо за участие!

(В ходе проведения анкетирования респондентам было предложено более подробное описание индикаторов готовности, которое не приводится отдельно в данном приложении во избежание дублирования.)

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Таблица А1

Показатели готовности инженерных проектов

Показатель	Сокр.	Краткое описание	Необходимость бухгалтерского учета (+/−)
Уровень технологической готовности	УТГ	Готовность (зрелость) технологии	
Уровень производственной готовности	УПГ	Готовность технологического процесса производства	
Уровень готовности к интеграции	IRL	Готовность технологии к интеграции в систему	
Уровень инженерной готовности	УИГ	Степень инженерной поддержки процесса разработки технологий	
Уровень готовности организации	УГО	Организационная готовность процесса создания технологии	
Выгоды и риски	УВР	Доступность преимуществ и рисков создания технологии	
Уровень готовности к коммерциализации	УКГ	Готовность технологии к выходу на рынок в виде продукта	
Готовность к масштабированию	–	Готовность технологии к получению эффекта масштаба в производстве	
Уровень нормативной готовности	УНГ	Готовность нормативной поддержки процесса разработки технологии	
Уровень готовности к передаче технологий	УГПТ	Готовность технологии к переносу из одной системы в систему с другим механизмом функционирования (межпрофильные технологии)	
УТГ для программного обеспечения	УТГ (ПО)	Готовность (зрелость) технологии программного обеспечения	
Метрика риска Мурхауса в сравнении с метрикой УТГ	MPM	Регрессия риска неудачи в зависимости от степени готовности технологии	
Исследования и создание: степень сложности	$ИС^3$	Сложность перехода технологии с текущего уровня готовности на следующий. $ИС^3$ – 5 этапов сложности, $ПС^2$ – 9 этапов	
Повышенная степень сложности	$ПС^2$		
Другое (укажите)			

Приложение С

Таблица А2

Определение уровней зрелости показателей готовности.

Уровень готовности	Показатель готовности	УТГ	УПГ	УГО	УГК	УКГ	УНГ
1	(0;1]	Основные технология принципы наблюдаются и сообщаются	Основные требования к технологии компоненты производства определены	Схема бизнес процесса разработана	Базовые навыки команды в целевой области подтверждены	Выявлены потенциальные возможности для бизнеса	Патентный анализ по существующим связанным технологиям проведён
2	(1;2]	Концепция технологии и/или применение сформулировано	Концепции базовой технологии производства определены	Наличие материалов и производствен-ных процессов оценено	Проектная документация и опыт команды в технико-экономическом обосновании подтверждены	Конкурентная среда оценена	Конкретные патенто-способные изобретения или другие патенто-способные объекты выявлены

Уровень готовности	Показатель готовности	УТГ	УПГ	УГО	УГК	УКГ	УНГ
3	(2;3]	Подтверждение возможность разработки технологии разработки получено	Получено подтверждение концепции производства	Технические характеристики технологии обсуждаются с потребителем	Навыки работы в команде для исследования создание технологии возможность подтверждена	Составленное ценностное предложение	Составлено подробное описание возможных патентоспособных изобретений
4	(3;4]	Технологический компонент и/или макетная плата валидация в лабораторных условиях	Возможность изготовления прототипа компоненты изготовления в лабораторных подтверждена	Утверждена концепция применения технологии	Подтверждены навыки команды по проведению лабораторных испытаний	Поставщики, партнеры, определена ценовая политика	Новизна изобретения и патенто-способность подтверждены
5	(4;5]	Технологический компонент и/или макетная плата валидация в стендовых испытаниях	Способность прототипа компонентов производства в соответству-ющих подтверждена	Требования к технологии сервисная поддержка уточнены	Навыки команды по стендовым испытаниям подтверждены	Точная технология характеристики определены	Подана первая полная патентная заявка. Разработан проект стратегии защиты ПИС
6	(5;6]	Прототип технологии демонстрация в соответствующей среде	Возможность изготовления прототипа производства в условиях эксплуатации подтверждена	Завершены этапы внесения изменений и корректировок в проект	Навыки создания прототипа создание и тестирование в соответствующей подтверждены	Усовершенствована модель ценообразования	Положительный ответ на патентную получен
7	(6;7]	Прототип технологии демонстрация-демонстрация в целевой/ операционной среде	Подтверждены возможности опытной производственной линии	Обучен персонал партнеров	Навыки тестирования прототипа в целевой/ операционной среда подтверждена	Предварительный вывод на рынок запуск завершен предварительный вывод технологии на рынок	Патент зарегистрирован. Другие официальные Регистрация ПИС
8	(7;8]	Успешное функциони-рование полно-масштабной технологической системы	Демонстрация первоначального мелкосерийного производства	Заключены соглашения с заинтересован-ными сторонами	Навыки полноценной технологии создание и тестирования функциональности подтверждены	Проработаны замечания клиентов	Выдан первый патент. Защита ПИС Стратегия защиты ПИС полностью реализована.

ЛИТЕРАТУРА

1. S&P Global. Global Energy Demand to Grow 47% by 2050, with Oil Still Top Source: US EIA. Available online: https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/latest-news/oil/100621-global-energy-demand-togrow-47-by-2050-with-oil-still-top-source-us-eia (accessed on 1 March 2023).
2. Reuters. Rising Global Energy Use Complicates Path to Net Zero. Available online: https://www.reuters.com/business/energy/rising-global-energy-use-complicates-path-net-zero-kemp-2021-07-27/ (accessed on 1 March 2023).
3. Shell. The Energy Transformation Scenarios. Available online: https://www.shell.com/energy-and-innovation/the-energyfuture/scenarios/the-energy-transformation-scenarios.html (accessed on 2 March 2023).
4. Bp. Energy Outlook. 2023. Available online: https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html (accessed on 2 March 2023).
5. Eskindarov, M.; Silvestrov, S. (Eds.) Innovative Development of Russia: Challenges and Solutions: A Monograph (Russian), 2nd ed.; Financial University under the Government of the Russian Federation: Moscow, Russian, 2014; 1376p, Available online: http://elib.fa.ru/fbook/gosteva.pdf/download/gosteva.pdf (accessed on 2 March 2023).
6. The Russian Federal State Statistics Service. Available online: https://eng.rosstat.gov.ru/ (accessed on 1 March 2023).
7. The Ministry of Finance of the Russian Federation. Available online: https://archive.minfin.gov.ru/en/ (accessed on 1 March 2023).
8. The Federal Customs Service of Russian Federation. Available online: https://eng.customs.gov.ru/ (accessed on 1 March 2023).
9. Russian State Commission Estimated Oil and Gas Reserves (Russian). Available online: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2022/08/05/934801-naskolko-hvatit-nefti-gaza (accessed on 1 March 2023).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

10. Tikhonov, S. Hard-to-Recover Reserves and Taxes: Incentives and Barriers to the HTR Reserves Development (Russian). Neftegazov. Vertikal' [Oil Gas Vert.] 2019, 6, 10–17. Available online: https://ngv.ru/upload/iblock/f2b/f2b91d12794a9ef8065e99fb700684a7.pdf (accessed on 1 March 2023).

11. Klubkov, S.; Mosoyan, M. Not All Oil Is "Black Gold" (Russian). Neftegazov. Vertikal' [Oil Gas Vert.] 2020, 20, 35–41. Available online: https://vygon.consulting/upload/iblock/49a/NGV_20_2020_Klubkov_Mosoyan.pdf (accessed on 1 March 2023).

12. Tsvetkova, A.; Katysheva, E. Present Problems of Mineral and Raw Materials Resources Replenishment in Russia. In Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM), Albena, Bulgaria, 30 June–6 July 2019; pp. 573–578. https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.3/S21.072

13. Kapustin, N.O.; Grushevenko, D.A. A Long-Term Outlook on Russian Oil Industry Facing Internal and External Challenges. Oil Gas Sci. Technol. Rev. d'IFP Energ. Nouv. 2019, 74, 72. https://doi.org/10.2516/ogst/2019044

14. Muslimov, R.K. Fundamental Problems of Oil Industry (Russian). Neft. Khozyaystvo-Oil Ind. 2017, 1, 6–11. Available online: https://onepetro.org/OIJ/article-abstract/2017/01/06/16596/Fundamental-problems-of-oil-industry-Russian (accessed on 1 March 2023).

15. Mastepanov, A. The Future of the Oil Industry in the Face of Energy Transition. View Analysis and Ratings of Foreign Experts (Russian). Neft. Khozyaystvo-Oil Ind. 2020, 1, 10–14. https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-1-10-14

16. Ponomarenko, T.; Marin, E.; Galevskiy, S. Economic Evaluation of Oil and Gas Projects: Justification of Engineering Solutions in the Implementation of Field Development Projects. Energies 2022, 15, 3103. [CrossRef]

17. Ismagilov, R. Present Day Trends in Oil and Gas Engineering (Russian). Neft. Gas. Novacii [Oil. Gas. Novations] 2017, 9, 26–30. Available online: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30586030 (accessed on 2 March 2023).

18. Vasilenko, N. Development of Oil and Gas Service as Organizational Form of Entrepreneurship in Post-Industrial Economy. J. Min. Inst. 2017, 227, 602. [CrossRef]

19. Russian State Standard GOST R 58916-2021. Engineering (Technology and Design). Terms and Definitions (Russian). Available online: https://docs.cntd.ru/document/1200181010 (accessed on 2 March 2023).

20. Razmanova, S.; Andrukhova, O. Oilfield Service Companies as Part of Economy Digitalization: Assessment of the Prospects for Innovative Development. J. Min. Inst. 2020, 244, 482–492. https://doi.org/10.31897/pmi.2020.4.11

21. Nedosekin, A.; Rejshahrit, E.; Kozlovskij, A. Strategic Approach to Assessing Economic Sustainability Objects of Mineral Resources Sector of Russia. J. Min. Inst. 2019, 237, 354–360. https://doi.org/10.31897/pmi.2019.3.354

22. Marin, E.A.; Ponomarenko, T.V.; Vasilenko, N.V.; Galevskiy, S.G. Economic Evaluation of Projects for Development of Raw Hydrocarbons Fields in the Conditions of the Northern Production Areas Using Binary and Reverting Discounting (Russian). Sev. I Rynok Form. Ekon. Poryadka [N. Mark. Form. Econ. Order] 2022, 25, 144–157. https://doi.org/10.37614/2220-802X.3.2022.77.010

23. U.S. Department of Defense (DoD). Technology Readiness Assessment (TRA) Deskbook; U.S. Department of Defense (DoD): Arlington County, VA, USA, 2009. Available online: https://acqnotes.com/wp-content/uploads/2014/09/Technology-Readiness-Assessment-TRA-Deskbook.pdf (accessed on 2 March 2023).

24. U.S. Government Accountability Office (GAO). Technology Readiness Assessment Guide: Best Practices for Evaluating the Readiness of Technology for Use in Acquisition Programs and Projects; U.S. Government Accountability Office (GAO): Washington, DC, USA, 2020. Available online: https://www.gao.gov/products/gao-20-48g (accessed on 2 March 2023).

25. Mankins, J.C. Technology Readiness Assessments: A Retrospective. Acta Astronaut 2009, 65, 1216–1223. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058

26. Azizian, N.; Sarkani, S.; Mazzuchi, T. A Comprehensive Review and Analysis of Maturity Assessment Approaches for Improved Decision Support to Achieve Efficient Defense Acquisition. In Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS), San Francisco, CA, USA, 20–22 October 2009; Available online: https://www.iaeng.org/publication/WCECS2009/WCECS2009_pp1150-1157.pdf (accessed on 2 March 2023).

27. Semenova, T. Value Improving Practices in Production of Hydrocarbon Resources in the Arctic Regions. J. Mar. Sci. Eng. 2022, 10, 187. https://doi.org/10.3390/jmse10020187

28. Cooper, R.G.; Edgett, S.J. Stage-Gate®and the Critical Success Factors for New Product Development. BPTrends 2006, 1–6. Available online: https://www.bptrends.com/publicationfiles/07-06-ART-Stage-GateForProductDev-Cooper-Edgett1.pdf (accessed on 2 March 2023).

29. ExxonMobil. 2023 Advancing Climate Solutions Progress Report. Available online: https://corporate.exxonmobil.com/Climatesolutions/Advancing-climate-solutions-progress-report (accessed on 2 March 2023).

30. IEA.World Energy Outlook. 2022. Available online: https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022 (accessed on 2 March 2023).

31. Resources for the Future. Global Energy Outlook Comparison Methods: 2022 Update. Available online: https://www.rff.org/publications/reports/global-energy-outlook-comparison-methods-2022-update/ (accessed on 2 March 2023).

32. Zhdaneev, O. Technological Sovereignty of the Russian Federation Fuel and Energy Complex. J. Min. Inst. 2022, 258, 1061–1070. https://doi.org/10.31897/PMI.2022.107

33. Nephew, R. Center on Global Energy Policy. Understanding and Assessing the New U.S. Sanctions Legislation Against Russia. Available online: https://www.energypolicy.columbia.edu/publications/understanding-and-assessing-new-us-sanctionslegislation-against-russia (accessed on 6 March 2023).

34. Mitrova, T.; Grushevenko, E.; Malov, A. The Future of Oil Production in Russia: Life under Sanctions; Skolkovo Energy Centre (SEneC): Moscow, Russia, 2018. Available online: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/research04-en.pdf (accessed on 2 March 2023).

35. Saitova, A.A.; Ilyinsky, A.A.; Fadeev, A.M. Scenarios for the Development of Oil and Gas Companies in Russia in the Context of International Economic Sanctions and the Decarbonization of the Energy Sector. Sev. I Rynok: Form. Ekon. Poryadka [N. Mark. Form. Econ. Order] 2022, 25, 134–143. https://doi.org/10.37614/2220-802X.3.2022.77.009

36. Mastepanov, A.M. Coronavirus and the Resulting Crisis: About the Prospects of the World Economy and Energy (Russian). Neft. Khozyaystvo-Oil Ind. 2020, 6, 6–12. https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-6-6-12

37. Mastepanov, A. The Influence of Oil Prices on theWorld Oil and Gas Industry Development Priorities (Russian). Neft. Khozyaystvo-Oil Ind. 2017, 2, 8–12. Available online: https://onepetro.org/OIJ/article-abstract/2017/02/08/16727/The-influence-of-oilprices-on-the-world-oil-and (accessed on 2 March 2023).

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

38. Kapustin, N.O.; Grushevenko, D.A. Global Prospects of Unconventional Oil in the Turbulent Market: A Long Term Outlook to 2040. Oil Gas Sci. Technol. Rev. d'IFP Energ. Nouv. 2018, 73, 67. https://doi.org/10.2516/ogst/2018063
39. Cherepovitsyn, A.; Rutenko, E.; Solovyova, V. Sustainable Development of Oil and Gas Resources: A System of Environmental, Socio-Economic, and Innovation Indicators. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 1307. https://doi.org/10.3390/jmse9111307
40. Cherepovitsyn, A.; Rutenko, E. Strategic Planning of Oil and Gas Companies: The Decarbonization Transition. Energies 2022, 15, 6163. https://doi.org/10.3390/en15176163
41. Blinova, E.; Ponomarenko, T.; Tesovskaya, S. Key Corporate Sustainability Assessment Methods for Coal Companies. Sustainability 2023, 15, 5763. https://doi.org/10.3390/su15075763
42. Chvileva, T.A.; Golovina, E.I. Publication of Reporting of Metallurgical Companies in Context of the Concept of Corporate Sustainable Development. J. Ind. Pollut. Control 2017, 33, 926–930.
43. Ulanov, V.L.; Ulanova, E.Y. Impact of External Factors on National Energy Security. J. Min. Inst. 2019, 238, 474–480. https://doi.org/10.31897/pmi.2019.4.474
44. Tcvetkov, P. Engagement of Resource-Based Economies in the Fight against Rising Carbon Emissions. Energy Rep. 2022, 8, 874–883. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.05.259
45. The World Bank. The Return of Global Inflation. Available online: https://blogs.worldbank.org/voices/return-global-inflation (accessed on 6 March 2023).
46. Shafranik, Y. Oil and Gas Industry in Russia: Problems and Development Goals (Russian). Gorn. Zhurnal 2015, 7, 55–59. https://doi.org/10.17580/gzh.2015.07.08
47. Katysheva, E.; Tsvetkova, A. Economic and Institutional Problems of the Russian Oil and Gas Complex Digital Transformation. In Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining EcologyManagement (SGEM), Albena, Bulgaria, 30 June–6 July 2019; pp. 203–208. https://doi.org/10.5593/sgem2019/5.3/S21.026
48. Matrokhina, K.V.; Trofimets, V.Y.; Mazakov, E.B.; Makhovikov, A.B.; Khaikin, M.M. Development of Methodology for Scenario Analysis of Investment Projects of Enterprises of the Mineral Resource Complex. J. Min. Inst. 2023, 259, 112–124. https://doi.org/10.31897/PMI.2023.3
49. Muslimov, R.K. On a New Paradigm for the Development of the Oil and Gas Complex in Russia (Russian). Neft. Khozyaystvo -Oil Ind. 2021, 3, 8–13. https://doi.org/10.24887/0028-2448-2021-3-8-13
50. Zakaev, D.; Nikolaichuk, L.; Filatova, I. Problems of Oil Refining Industry Development in Russia. Int. J. Eng. Res. Technol. 2020, 13, 267–270. Available online: http://www.ripublication.com/irph/ijert20/ijertv13n2_10.pdf (accessed on 2 March 2023).
51. Kontorovich, A.E.; Burshtein, L.M.; Livshits, V.R.; Ryzhkova, S.V. Main Directions of Development of the Oil Complex of Russia in the First Half of the Twenty-First Century. Her. Russ. Acad. Sci. 2019, 89, 558–566. https://doi.org/10.1134/S101933161906008X
52. Gendler, S.G.; Fazylov, I.R.; Abashin, A.N. The Results of Experimental Studies of the Thermal Regime of Oil Mines in the Thermal Method of Oil Production. Min. Inf. Anal. Bull. 2022, 248–262. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_61_0_248
53. Ilyushin, Y.V.; Fetisov, V. Experience of Virtual Commissioning of a Process Control System for the Production of High-Paraffin Oil. Sci. Rep. 2022, 12, 18415. https://doi.org/10.1038/s41598-022-21778-0, https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36319801
54. Cherepovitsyn, A.; Lebedev, A. Drill Cuttings Disposal Efficiency in Offshore Oil Drilling. J. Mar. Sci. Eng. 2023, 11, 317. https://doi.org/10.3390/jmse11020317
55. Dmitrieva, D.; Cherepovitsyna, A.; Stroykov, G.; Solovyova, V. Strategic Sustainability of Offshore Arctic Oil and Gas Projects: Definition, Principles, and Conceptual Framework. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 10, 23. https://doi.org/10.3390/jmse10010023
56. Cherepovitsyn, A.; Tcvetkov, P.; Evseeva, O. Critical Analysis of Methodological Approaches to Assessing Sustainability of Arctic Oil and Gas Projects. J. Min. Inst. 2021, 249, 463–479. https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.15
57. Samylovskaya, E.; Makhovikov, A.; Lutonin, A.; Medvedev, D.; Kudryavtseva, R.-E. Digital Technologies in Arctic Oil and Gas Resources Extraction: Global Trends and Russian Experience. Resources 2022, 11, 29. https://doi.org/10.3390/resources11030029
58. Chanysheva, A.; Ilinova, A. The Future of Russian Arctic Oil and Gas Projects: Problems of Assessing the Prospects. J. Mar. Sci. Eng. 2021, 9, 528. https://doi.org/10.3390/jmse9050528
59. Gizatullin, R.; Dvoynikov, M.; Romanova, N.; Nikitin, V. Drilling in Gas Hydrates: Managing Gas Appearance Risks. Energies 2023, 16, 2387. https://doi.org/10.3390/en16052387
60. Dvoynikov, M.; Buslaev, G.; Kunshin, A.; Sidorov, D.; Kraslawski, A.; Budovskaya, M. New Concepts of Hydrogen Production and Storage in Arctic Region. Resources 2021, 10, 3. https://doi.org/10.3390/resources10010003
61. Kunshin, A.; Dvoynikov, M.; Timashev, E.; Starikov, V. Development of Monitoring and Forecasting Technology Energy Efficiency ofWell Drilling Using Mechanical Specific Energy. Energies 2022, 15, 7408. https://doi.org/10.3390/en15197408
62. Grigorev, E.; Nosov, V. Improving Quality Control Methods to Test Strengthening Technologies: A Multilevel Model of Acoustic Pulse Flow. Appl. Sci. 2022, 12, 4549. https://doi.org/10.3390/app12094549
63. Oil and Gas Digest: Import Substitution in the Oil and Gas Industry (Russian). 2018. Available online: https://www.neftegazexpo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz/doc_2018/Neftegaz_Digest_2018.04.pdf (accessed on 2 March 2023).
64. Oil and Gas Digest: Import Substitution in the Oil and Gas Industry (Russian). 2020. Available online: https://www.neftegaz-expo.ru/common/img/uploaded/exhibitions/neftegaz2020/img/digest/Neftegaz_Digest_2020.14(21).pdf (accessed on 2 March 2023).
65. Syas'ko, V.; Shikhov, A. Assessing the State of Structural Foundations in Permafrost Regions by Means of Acoustic Testing. Appl. Sci. 2022, 12, 2364. https://doi.org/10.3390/app12052364
66. Peretyatko, M.A.; Yakovlev, P.V.; Peretyatko, S.A.; Deev, A.S.; Dyachenok, G. The Study of Heart Transfer during Boiling Process of Organic Fluid. J. Phys. Conf. Ser. 2020, 1614, 012069. https://doi.org/10.1088/1742-6596/1614/1/012069
67. Onopriuk, V. Expansion to the East (Russian). Ross. Gaz. (Ekon.) [Russ. Newsp. (Econ.)] 2017, 280, 11–13. Available online: https://cdnstatic.rg.ru/uploads/attachments/fascicle/3/53/64/35364-1512719780.pdf (accessed on 2 March 2023).
68. Henderson, J.; Mitrova, T. Energy Relations between Russia and China: Playing Chess with the Dragon; The Oxford Institute for Energy Studies: Oxford, UK, 2016. Available online: https://a9w7k6q9.stackpathcdn.com/wpcms/wp-content/uploads/2016/08/Energy-Relations-between-Russia-and-China-Playing-Chess-with-the-Dragon-WPM-67.pdf (accessed on 5 March 2023).

 Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

69. Marinina, O.; Tsvetkova, A.; Vasilev, Y.; Komendantova, N.; Parfenova, A. Evaluating the Downstream Development Strategy of Oil Companies: The Case of Rosneft. Resources 2022, 11, 4. https://doi.org/10.3390/resources11010004

70. Katysheva, E. Analysis of the Interconnected Development Potential of the Oil, Gas and Transport Industries in the Russian Arctic. Energies 2023, 16, 3124. https://doi.org/10.3390/en16073124

71. Blinova, E.; Ponomarenko, T.; Knysh, V. Analyzing the Concept of Corporate Sustainability in the Context of Sustainable Business Development in the Mining Sector with Elements of Circular Economy. Sustainability 2022, 14, 8163. https://doi.org/10.3390/su14138163

72. North, D.W.; Stern, P.C.; Webler, T.; Field, P. Public and Stakeholder Participation for Managing and Reducing the Risks of Shale Gas Development. Environ. Sci. Technol. 2014, 48, 8388–8396. https://doi.org/10.1021/es405170k

73. Sergeev, I.; Shkatov, M.; Siraev, A. Oilfield Services Companies and Their Innovative Development (Russian). J. Min. Inst. 2011, 191, 293–301. Available online: https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/6408?setLocale=ru_RU (accessed on 5 March 2023).

74. Deloitte. Reviews of the Russian Oilfield Services Market 2014–2020. Available online: https://www2.deloitte.com/kz/ru/pages/energy-and-resources/articles/2020/oil-gas-survey-russia-2020.html (accessed on 7 March 2023).

75. Seregin, A.S.; Fazylov, I.R.; Prokhorova, E.A. Justification of safe operating conditions for mining transportation machines powered by internal combustion engines using air pollutant emission criterion. Min. Inf. Anal. Bull. 2022, 11, 37–51. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_11_0_37

76. Gerasimova, I.G.; Oblova, I.S.; Golovina, E.I. The Demographic Factor Impact on the Economics of the Arctic Region. Resources 2021, 10, 117. https://doi.org/10.3390/resources10110117

77. Fadeev, A.M.; Lipina, S.A.; Zaikov, K.S. Staffing for the Development of the Arctic Offshore Hydrocarbon Fields. Polar Geogr. 2022, 45, 101–118. https://doi.org/10.1080/1088937X.2022.2032448

78. Katysheva, E.G. Application of BigData Technology to Improve the Efficiency of Arctic Shelf Fields Development. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2021, 937, 042080. https://doi.org/10.1088/1755-1315/937/4/042080

79. Yakovleva, T.A.; Romashev, A.O.; Mashevsky, G.N. Digital technologies for optimizing the dosing of flotation reagents during flotation of non-ferrous metal ores (Russian). Min. Inf. Anal. Bull. 2022, 175–188. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_175

80. EARTO. The TRL Scale as a Research & Innovation Policy Tool, Recommendations. 2014. Available online: https://www.earto.eu/wp-content/uploads/The_TRL_Scale_as_a_R_I_Policy_Tool_-_EARTO_Recommendations_-_Final.pdf (accessed on 2 March 2023).

81. Sauser, B.; Verma, D.; Ramirez-Marquez, J.; Gove, R. From TRL to SRL: The Concept of System Readiness Levels. In Proceedings of the Conference on Systems Engineering Research (CSER), Los Angeles, CA, USA, 7–8 April 2006. Available online: https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.562.3338&rep=rep1&type=pdf (accessed on 7 March 2023).

82. Cornford, S.L.; Sarsfield, L. Quantitative Methods for Maturing and Infusing Advanced Spacecraft Technology. In Proceedings of the 2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings (IEEE Cat. No.04TH8720), Big Sky, MT, USA, 6–13 March 2004; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2004; pp. 663–681. https://doi.org/10.1109/AERO.2004.1367652

83. Petrov, A.; Sartory, A.; Filimonov, A. Comprehensive Assessment of the Status of Scientific and Technical Projects Using Technology Project Readiness Level (Russian). Econ. Sci. 2016, 2, 244–260. https://doi.org/10.22394/2410-132X-2016-2-4-244-260

84. All about Stage-Gate Process for Product Development. Available online: https://slidemodel.com/stage-gate-process-forproduct-development/ (accessed on 7 March 2023).

85. Grönlund, J.; Sjödin, D.R.; Frishammar, J. Open Innovation and the Stage-Gate Process: A Revised Model for New Product Development. Calif. Manag. Rev. 2010, 52, 106–131. https://doi.org/10.1525/cmr.2010.52.3.106

86. Cooper, R.G. Perspective: The Stage-Gate® Idea-to-Launch Process—Update, What's New, and NexGen Systems. J. Prod. Innov. Manag. 2008, 25, 213–232. https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2008.00296.x

87. U.S. Department of Defense (DOD). Manufacturing Readiness Level (MRL) Deskbook; U.S. Department of Defense (DoD): Arlington County, VA, USA, 2020. Available online: https://www.dodmrl.com/MRL%20Deskbook%20V2020.pdf (accessed on 5 March 2023).

88. Wu, C.; Wang, B.; Zhang, C.; Wysk, R.A.; Chen, Y.-W. Bioprinting: An Assessment Based on Manufacturing Readiness Levels. Crit. Rev. Biotechnol. 2017, 37, 333–354. https://doi.org/10.3109/07388551.2016.1163321

89. Gove, R. Development of an Integration Ontology for Systems Operational Effectiveness. Master's Thesis, Stevens Institute of Technology, Hoboken, NJ, USA, 2007.

90. Hjorth, S.; Brem, A. How to Assess Market Readiness for an Innovative Solution: The Case of Heat Recovery Technologies for SMEs. Sustainability 2016, 8, 1152. https://doi.org/10.3390/su8111152

91. Greig, C.; Bonger, G.; Caroline, S.; Byrom, S.; The University of Queensland. Energy Security and Prosperity in Australia—A Roadmap for Carbon Capture & Storage. Available online: https://energy.uq.edu.au/files/2274/UQE003_CCS_report_HR.pdf (accessed on 7 March 2023).

92. Sartas, M.; Schut, M.; Proietti, C.; Thiele, G.; Leeuwis, C. Scaling Readiness: Science and Practice of an Approach to Enhance Impact of Research for Development. Agric. Syst. 2020, 183, 102874. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102874

93. Kobos, P.H.; Malczynski, L.A.; Walker, L.T.N.; Borns, D.J.; Klise, G.T. Timing Is Everything: A Technology Transition Framework for Regulatory and Market Readiness Levels. Technol. Forecast. Soc. Chang. 2018, 137, 211–225. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.052

94. Vik, J.; Melås, A.M.; Stræte, E.P.; Søraa, R.A. Balanced Readiness Level Assessment (BRLa): A Tool for Exploring New and Emerging Technologies. Technol. Forecast. Soc. Chang. 2021, 169, 120854. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120854

95. Holt, L.K. A Tool for Technology Transfer Evaluation: Technology Transfer Readiness Levels (TTRLs). In Proceedings of the 58th International Astronautical Congress; International Astronautical Federation, Hyderabad, India, 24–28 September 2007; pp. 8700–8704.

96. Moorhouse, D.J. Detailed Definitions and Guidance for Application of Technology Readiness Levels. J. Aircr. 2002, 39, 190–192. https://doi.org/10.2514/2.2916

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

97. Mankins, J. Research & Development Degree of Difficulty (R&D3). A White Paper. 1998. Available online: https://www.economicswebinstitute.org/essays/nasadiff.pdf (accessed on 7 March 2023).

98. Bilbro, J. Using the Advancement Degree of Difficulty (AD2) as an Input to Risk Management. In Proceedings of the Technology Maturity Conference, Virginia Beach, VA, USA, 8–12 September 2008. Available online: https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA507591.pdf (accessed on 7 March 2023).

99. Sauser, B.J.; Ramirez-Marquez, J.; Magnaye, R.; Tan, W. System Maturity Indices for Decision Support in the Defense Acquisition Process. In Proceedings of the 5th Annual Acquisition Research Symposium of the Naval Postgraduate School, Monterey, CA, USA, 14 May 2008; Available online: https://core.ac.uk/download/pdf/36725967.pdf (accessed on 7 March 2023).

100. Mankins, J.C. Approaches to Strategic Research and Technology (R&T) Analysis and Road Mapping. Acta Astronaut. 2002, 51, 3–21. https://doi.org/10.1016/S0094-5765(02)00083-8

101. Mankins, J.C. Technology Readiness and Risk Assessments: A New Approach. Acta Astronaut. 2009, 65, 1208–1215. https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.059

102. Komarov, A.; Petrov, A.; Sartory, A. The Model of Integrated Assessment of Technological Readiness of Innovative Scientific and Technological Projects (Russian). Econ. Sci. 2018, 4, 47–57. https://doi.org/10.22394/2410-132X-2017-4-1-47-57

103. Aleksandrova, T.; Nikolaeva, N.; Kuznetsov, V. Thermodynamic and Experimental Substantiation of the Possibility of Formation and Extraction of Organometallic Compounds as Indicators of Deep Naphthogenesis. Energies 2023, 16, 3862. https://doi.org/10.3390/en16093862

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0