



Цифровая трансформация процессов промышленных объектов нефтегазового месторождения

© 2025, Е.К. Терешко ✉, М.Р. Малашенко, Е.П. Середин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ), Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Статья посвящена исследованию влияния цифровой трансформации на процессы промышленных объектов нефтегазовой отрасли с целью их совершенствования. Объектом исследования являются субъекты экономической деятельности нефтегазового месторождения, а предметом - внедрение современных цифровых технологий (Интернет вещей, информационное моделирование строительства, аддитивные технологии, роботизация, искусственный интеллект и др.) на протяжении жизненного цикла промышленных объектов. Показано применение цифровых инструментов на разных стадиях жизненного цикла – от концептуального проектирования до введения в эксплуатацию объектов и их демонтажа. Рассмотрены стадии жизненного цикла объектов обустройства месторождений «Проектирование» - «Освоение месторождения» - «Демонтаж», проведена декомпозиция стадий «Проектирование» и «Освоение месторождения». Сформирована матрица принадлежности цифровых технологий стадиям жизненного цикла объекта обустройства нефтегазового месторождения, что позволило построить онтологию обустройства такого объекта. Предложены рекомендации по развитию цифровой трансформации субъектов экономической деятельности при разработке нефтегазового месторождения в форме стратегической карты.

Ключевые слова: цифровая трансформация, нефтегазовое месторождение, жизненный цикл, цифровые технологии, система показателей, стратегическая карта, онтология.

Цитирование: Терешко Е.К., Малашенко М.Р., Середин Е.П. Цифровая трансформация процессов промышленных объектов нефтегазового месторождения. *Онтология проектирования*. 2025. Т.15. №3(57). С.376-389. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-3-376-389.

Вклад авторов: Терешко Е.К. – постановка задачи исследования, концепция, методология; Малашенко М.Р. – сбор и систематизация данных; Середин Е.П. – визуализация данных.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Цифровая трансформация (ЦТ) представляет собой процесс интеграции цифровых технологий во все сферы деятельности организаций, который изменяет способ их функционирования и взаимодействия. Известны различные определения термина ЦТ, включающие внедрение современных информационных технологий в производственные процессы и комплексное преобразование существующих бизнес-процессов и моделей управления [1-3]. В [4] отмечается, что нет единого определения ЦТ, утверждённого в нормативной документации, государственных программах и научных исследованиях.

В работе рассматривается влияние ЦТ на процессы промышленных объектов нефтегазовой отрасли на ключевых стадиях жизненного цикла (ЖЦ) объектов обустройства нефтегазовых месторождений (НГМ). Объектами обустройства месторождения являются площадочные объекты, которые обеспечивают технологический процесс добычи углеводородов, выполняя определённую функцию (добычу, подготовку к транспортировке и т.п.). Обустройство месторождения включает в себя последовательные этапы проектирования и строительство объектов обустройства. ЖЦ этих объектов начинается с проектирования и заканчивается

ся демонтажом. Таким образом, *объектом* исследования являются субъекты экономической деятельности НГМ, а *предметом* - ЦТ промышленных объектов.

1 Обзор литературы

В контексте ЦТ термин «Цифровизация» является смежным. Цифровизация даёт возможность снизить затраты на выполнение работ, ускорить их и повысить эффективность управления [5]. Благодаря этому процессу происходит «цифровое обновление» существующих процессов, которое позволяет сделать их более прозрачными и удобными для анализа и управления, что можно считать началом ЦТ [6]. ЦТ направлена на изменение структуры организационных процессов, изменение бизнес-моделей и процессов [7]. Во многом способствует цифровизации рост вычислительных мощностей, увеличение объёмов данных, развитие Интернета вещей и искусственного интеллекта (ИИ) [8].

Процесс ЦТ проявляется в промышленном проектировании [9]. Одним из основных инструментов цифрового проектирования является технология информационного моделирования зданий (*Building Information Model, BIM*) [10]. *BIM* даёт возможность проводить эксперименты, моделировать сценарии эксплуатации и выявлять узкие места на ранней стадии проектирования [11].

Современные системы автоматизированного проектирования интегрируются с *BIM*-платформами и создают единое информационное пространство, доступное для всех участников проекта [12]. Развитие инструментов создания цифровых двойников (ЦД) позволяет создавать виртуальное представление объекта производства и в режиме реального времени отслеживать показатели, характеризующие его работу [13, 14]. Применение систем мониторинга и анализа больших данных приводит к повышению производительности и к улучшению качества конечного продукта [15].

Применение разнообразных технологических решений позволяет упростить процесс добычи углеводородов с использованием систем мониторинга, аналитических платформ и беспилотных летательных аппаратов для наблюдения за удалёнными объектами [16, 17]. Внедрение подобных технологий способствует переходу к так называемым «умным месторождениям», где ключевую роль играет оперативное управление и предиктивная аналитика [18]. *BIM*-системы и специализированные программные средства для моделирования месторождений применяются при ЦТ нефтегазовой отрасли [19, 20].

Проведение ЦТ в промышленном строительстве сопровождается трудностями при интеграции новых систем с существующей инфраструктурой предприятия [21, 22]. Увеличение объёма данных приводит к увеличению риска их утечки и прочих информационных угроз. Без надёжной системы кибербезопасности ЦТ может привести к увеличению затрат и длительности реализации проекта [23, 24].

Внедрение новых цифровых инструментов на разных стадиях промышленного строительства позволит сократить сроки строительства и создать модели управления, гибкие по отношению к меняющемуся рынку [25, 26].

2 Методы исследования

Обзор литературы по ключевым словам: «ЦТ», «цифровизация», «строительная отрасль», «промышленные объекты», «цифровые технологии в строительстве», «НГМ», «*BIM*-технологии», «онтологический подход», «стратегическая карта», «*IDEF0*» позволил выявить основные аспекты цифровизации в проектировании нефтегазовых объектов. Практические аспекты применения цифровых решений и оценка их влияния на эффективность проектиро-

вания выявлены на примерах конкретных проектов в этой сфере. Влияние ЦТ на проектирование объектов НГМ может быть представлено в виде следующих этапов.

Этап 1. Выявление ключевых стадий ЖЦ объектов обустройства месторождений. При построении схемы со стадиями ЖЦ в исследовании использована нотация *IDEF0* [27].

Этап 2. Сопоставление стадий ЖЦ объектов обустройства месторождений с цифровыми технологиями: *VIM*; аддитивные технологии; роботизация; технологии виртуальной реальности; умные датчики; блокчейн; ИИ; и др. На данном этапе сформирована матрица применения цифровых технологий на стадиях ЖЦ объектов обустройства НГМ.

Этап 3. Построение фрагмента онтологической схемы рассматриваемой предметной области (ПрО). Создание онтологической схемы включает следующие подэтапы [28, 29].

3.1. Определение ПрО, основных целей и контекстов создания онтологии.

3.2. Сбор данных для построения онтологии, анализ и группировка данных для выделения основных понятий, классов объектов, экземпляров, входящих в объекты, их свойств, отношений между ними.

3.3. Построение онтологической схемы ПрО «Обустройство объектов НГМ» с визуализацией классов, экземпляров и отношений.

Этап 4. Разработка рекомендаций по стратегическому развитию посредством формирования стратегической карты в рамках сбалансированной системы показателей [30], адаптированной под региональные условия – комплекс региональных индикаторов [31, 32]. Построение стратегической карты включает следующие подэтапы.

4.1. Определение миссии, видения и стратегической цели [33].

4.2. Определение ключевых компонент стратегической карты.

4.3. Предложение целевых ориентиров в контексте каждой компоненты.

3 Стадии жизненного цикла объектов обустройства месторождений

На первом этапе рассмотрены ключевые стадии ЖЦ объектов обустройства месторождений («Проектирование» - «Освоение месторождения» - «Демонтаж¹») и их взаимосвязь с цифровыми технологиями (рисунок 1).

Блоком А0 в нотации *IDEF0* представлено обустройство нефтегазового месторождения, которое декомпозируется на стадии: проектирование (А1); освоение месторождения (А2); демонтаж (А3). Согласно ГОСТ

Р 59265-2020², который устанавливает требования к видам, составу, структуре, содержанию и порядку оформления технологических проектов разработки морских месторождений, под ЖЦ месторождения понимается его разработка и эксплуатация от момента открытия до ликвидации (консервации) объектов обустройства месторождения. Такое определение позволяет



Рисунок 1 – Схема декомпозиции стадий ЖЦ объектов обустройства месторождений уровня А0

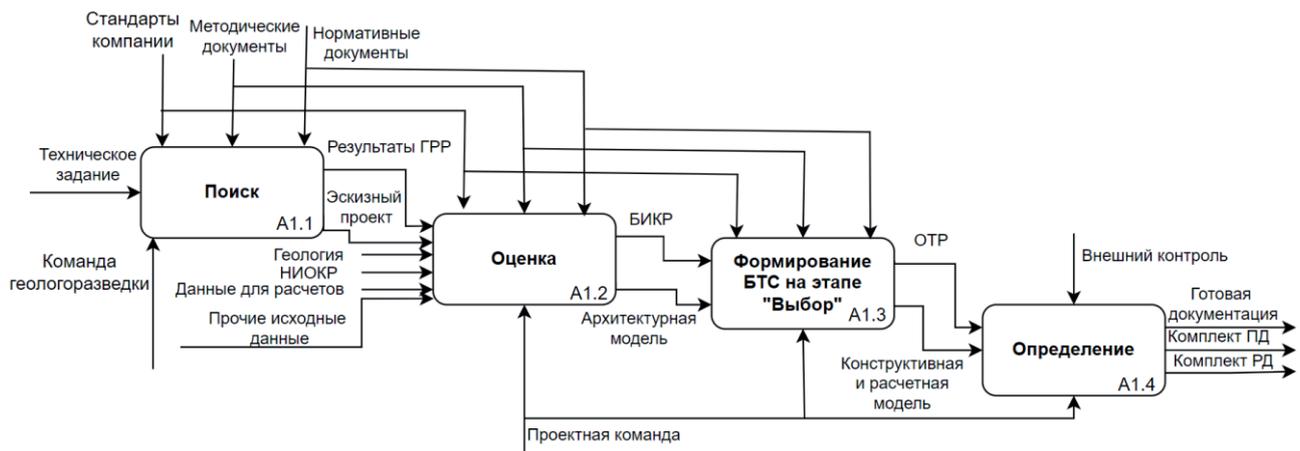
¹ Процесс демонтажа мало формализуем, в нём можно выделить стадии: определение пригодности оборудования; разработка проекта демонтажа, включающего технические, экологические и экономические требования; непосредственное проведение демонтажа; утилизация или повторное использование и др. В данной работе применение ЦТ к стадиям декомпозиции демонтажа подробно не рассматривалось.

² ГОСТ Р 59265-2020. Проектная (технологическая) документация для освоения морских нефтяных, газовых, газоконденсатных, нефтегазоконденсатных месторождений. Основные требования. Дата введения 2021-09-01. М.: Стандартинформ. 2021. – 57 с.

на верхнем уровне разделить ЖЦ объектов обустройства месторождения на три стадии, представленные на рисунке 1.

Стадия «Проектирование» (А1) – основа для всех последующих действий, где определяются не только технические параметры, но и экологические, экономические и социальные аспекты³, включает стадии: «Поиск» (А1.1), «Оценка» (А1.2), «Выбор» (А1.3) и «Определение» (А1.4) (см. рисунок 2). На стадии «Поиск» (А1.1) осуществляется выбор варианта технологии и компоновки оборудования, оптимальной для реализации проекта по техническим, экономическим и временным критериям. Такая декомпозиция основана на методологии, применяемой в крупной нефтегазовой компании^{4,5}. Здесь эскизный проект не включает экономическую оценку проекта, тогда как концептуальный проект, основываясь на эскизном проекте и уточняя его, содержит расчёты экономической обоснованности проекта.

На стадиях «Оценка» (А1.2) и «Выбор» (А1.3) вырабатывается основная концепция реализации проекта, учитывающая номенклатуру оборудования (с примерными техническими характеристиками, основанными на мощности НГМ), компоновку оборудования, а также оценку экономической целесообразности реализации проекта. В дальнейшем принятая концепция практически не претерпевает изменений. На данных стадиях происходит снижение уровня неопределённостей и управления рисками, что получило название концептуального проекта. Концептуальная проработка должна быть произведена до уровня крупных технологических блоков.



БИКР - базовая интегрированная концепция разработки; БТС - блочно-технологические схемы; ГРП - геолого-разведочные работы; ОТР - основные технические решения; ПД - проектная документация; РД - рабочая документация; НИОКР - научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы

Рисунок 2 – Схема декомпозиции уровня А1 «Проектирование»

На стадии «Выбор» (А1.3) происходит снятие неопределённостей за счёт разработки различных вариантов технико-экономической концепции проекта и выбора оптимального среди них. Затем происходит повышение детализации технических решений и точности оценки затрат варианта, передаваемого в проектирование. Продуктом становится уточнённая интегрированная концепция разработки (ИКР), синхронизированная с основными техническими ре-

³ Технические аспекты разработки месторождений, требования к охране окружающей среды, социальной инфраструктуре и необходимость экономических расчётов на той или иной стадии проектирования подробно рассмотрены в ГОСТах: ГОСТ Р 59071-2020. Охрана окружающей среды. Недр. Термины и определения; ГОСТ Р 58367-2019. Обустройство месторождений нефти на суше. Технологическое проектирование; СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства; ГОСТ Р 53554-2009. Поиск, разведка и разработка месторождений углеводородного сырья. Термины и определения.

⁴ Проектное управление / Газпром нефть - Развитие. <https://dvp.gazprom-neft.ru/competension/pm/>.

⁵ Данилушкина А.В. Вехи и выходы: управление крупными проектами в «Газпром нефти» [Электронный ресурс] // Управление производством..5 июля 2013. https://up-pro.ru/library/project-management/project_management/gazpromneft/.

шениями (ОТР), которые начинают разрабатываться Проектным институтом на стадии «Выбор» (A1.3). Далее следует стадия «Определение» (A1.4), целью которой является формирование проектной и рабочей документации.

Декомпозиция стадии «Освоения месторождения» (A2) показана на рисунке 3 и состоит из следующих процессов: «Процесс обустройства» (A2.1), «Эксплуатация» (A2.2) и «Реконструкция» (A2.3). Основной целью стадии «Процесс обустройства» (A2.1) является создание комплекса сооружений строительной организацией для добычи, транспортировки, подготовки и переработки углеводородного сырья.

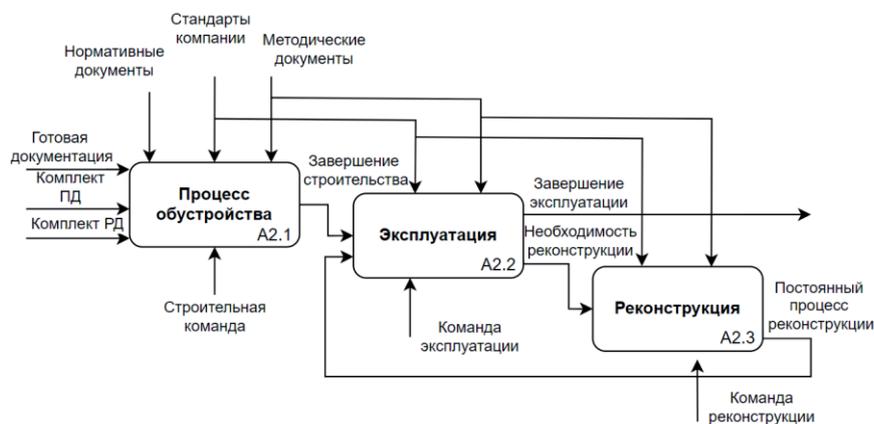


Рисунок 3 – Схема декомпозиции «Освоение месторождения» (A2)

После завершения строительства осуществляется стадия «Эксплуатация» (A2.2), что включает непосредственную добычу углеводородного сырья, и «Реконструкция» (A2.3). Отслеживать состояние оборудования можно с помощью цифровых технологий. Данные, поступающие от умных датчиков, анализируются моделями ИИ и предупреждают о возможных скорых поломках в оборудовании.

На стадии «Демонтаж» (A3) использование BIM-моделей и технологий ИИ поможет спрогнозировать и минимизировать риски при разборе и утилизации конструкций.

Путём сопоставления стадий ЖЦ с рассмотренными цифровыми технологиями сформирована матрица принадлежности цифровых технологий стадиям ЖЦ объекта обустройства НГМ (см. рисунок 4).

	BIM	GIS	Аддитивные технологии	Роботизация	Умные датчики	VR, AR технологии	Блокчейн	ИИ
1. Проектирование								
1.1. Поиск	+	+	-	-	-	-	+	+
1.2. Оценка	+	-	-	-	-	-	+	+
1.3. Формирование БТС на этапе "Выбор"	+	-	-	-	-	-	+	+
1.4. Определение	+	-	-	-	-	-	+	+
2. Освоение месторождения								
2.1. Обустройство	+	+	+	+	+	+	-	+
2.2. Эксплуатация	+	+	-	+	+	+	-	+
2.3. Реконструкция	+	+	-	+	+	+	+	+
3. Демонтаж								
	+	+	-	+	-	+	-	+

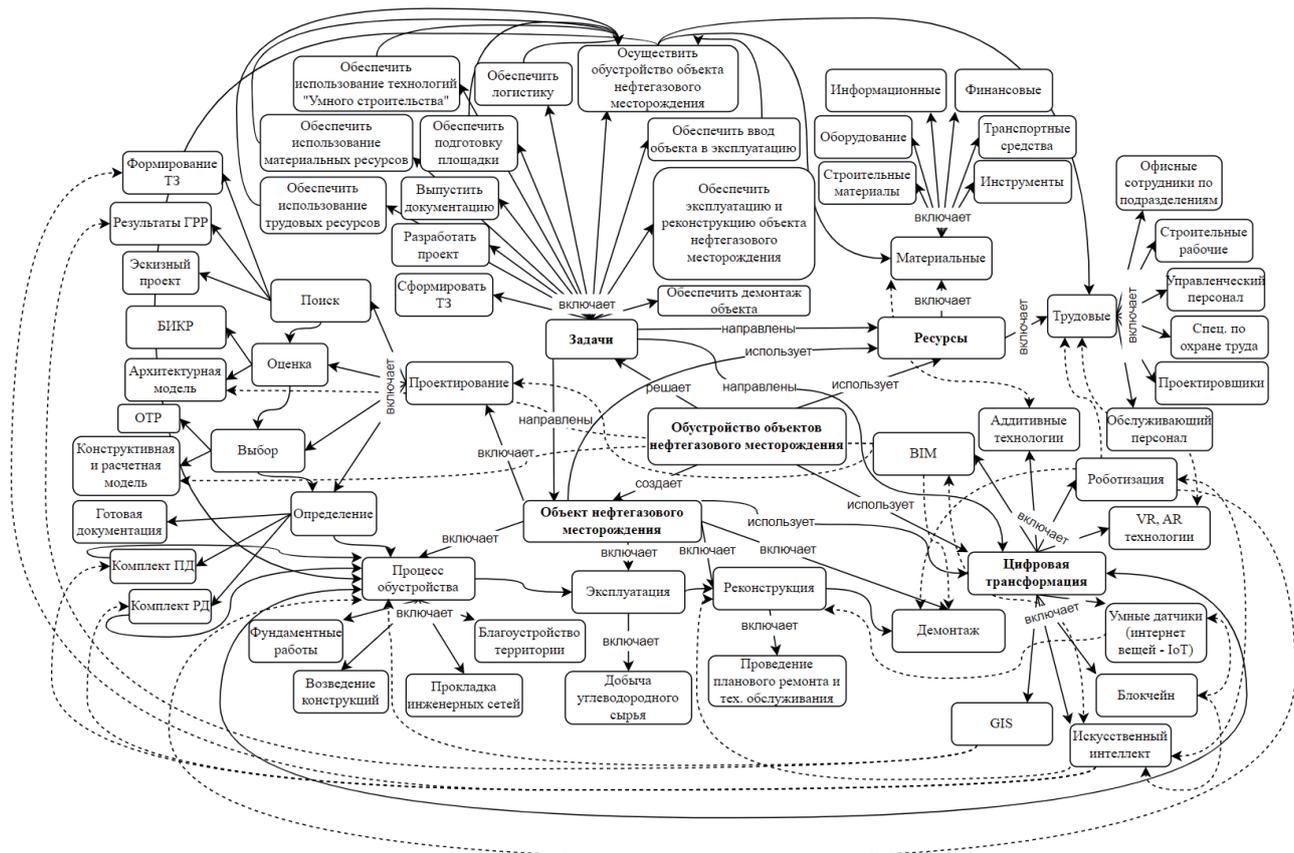
BIM - Building Information Model; GIS - геоинформационная система; VR технологии - технологии виртуальной реальности; AR технологии - технологии дополненной реальности; БТС - блочно-технологические схемы; ИИ – искусственный интеллект

Рисунок 4 – Матрица принадлежности цифровых технологий стадиям жизненного цикла объекта обустройства нефтегазового месторождения

4 Онтология обустройства объекта нефтегазового месторождения

Онтология представляет собой формализованный набор понятий и взаимосвязей в рассматриваемой ПрО, что способствует лучшему пониманию и анализу процессов, связанных с добычей и переработкой углеводородов. Онтология отражает ключевые элементы и взаимосвязи, которые влияют на обустройство объекта НГМ. Создание онтологической схемы позволяет систематизировать существующие знания, а анализ основных классов (задачи, ресурсы, объект НГМ, технологии ЦТ), помогает сформировать целостное представление о процессе обустройства НГМ и улучшить принятие решений на всех уровнях управления.

Обустройство объекта НГМ в виде фрагмента онтологии представлено на рисунке 5.



ТЗ - техническое задание; ГРП - геологоразведочные работы; БИКР - базовая интегрированная концепция разработки; ОТР - основные технические решения; ПД - проектная документация; РД - рабочая документация; BIM - Building Information Model; GIS - геоинформационная система; VR технологии - технологии виртуальной реальности; AR технологии - технологии дополненной реальности

Рисунок 5 – Фрагмент онтологии обустройства объекта нефтегазового месторождения

Данная онтология отражает ключевые отношения между процессом обустройства НГМ, задачами, которые для этого необходимо выполнить, требующимися ресурсами и цифровыми технологиями. В онтологии выделены ключевые процессы: проектирование, процесс обустройства, эксплуатация, реконструкция и демонтаж. Фрагмент онтологии отражает:

- Отношения, описывающие базовые связи между классами и экземплярами онтологии (обозначены сплошными стрелками).
 - Отношения, описывающие связи между задачей «Осуществить обустройство объекта нефтегазового месторождения» и трудовыми/материальными ресурсами, а также процессом обустройства НГМ. В то же время сам процесс обустройства НГМ включает комплекты ПД/РД и имеет двустороннее отношение с классом объекта «Цифровая трансформация».

- Отношения, описывающие зависимость между классами (стадиями ЖЦ) объекта обустройства НГМ: «Поиск», «Оценка», «Выбор», «Определение», «Процесс обустройства», «Эксплуатация», «Реконструкция», «Демонтаж».
- Отношения, описывающие зависимость между экземплярами (задачами) такими как «Обеспечить использование трудовых ресурсов»/ «Обеспечить использование материальных ресурсов»/ «Обеспечить использование технологий «Умного строительства»/ «Обеспечить подготовку площадки»/ «Обеспечить логистику» и «Осуществить обустройство объекта нефтегазового месторождения».
- Второстепенное отношение, описывающее зависимость между экземплярами (задачами) – между «Обеспечить ввод объекта в эксплуатацию» и «Осуществить обустройство объекта нефтегазового месторождения».
- Отношения, описывающие влияние ЦТ между экземплярами онтологии (обозначены штрихпунктирными стрелками).

Построенную онтологию можно использовать при разработке программного обеспечения для автоматизации процесса проектирования НГМ.

5 Рекомендации по стратегическому развитию цифровой трансформации

Формирование стратегии ЦТ является необходимым шагом для повышения эффективности, устойчивости и конкурентоспособности в условиях быстро меняющегося рынка. На федеральном уровне это подкрепляется национальными проектами «Экономика данных» (2025-2030 гг.)⁶ и «Средства производства и автоматизации» (2025-2027 гг.)⁷. На региональном уровне разработка стратегической инициативы подкрепляется «Стратегиями в области ЦТ отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления», которые разрабатываются для каждого региона в отдельности⁸.

Стратегия ЦТ субъектов экономической деятельности при разработке НГМ должна включать следующие компоненты: 1) анализ текущего состояния; 2) определение миссии, видения, цели и задач; 3) выбор технологий; 4) разработку дорожной карты; 5) обучение и развитие кадров; 6) интеграцию систем; 7) мониторинг и оценку эффективности; 8) управленческие изменения; 9) сотрудничество с партнёрами; 10) устойчивое развитие.

Стратегическая карта ЦТ субъектов экономической деятельности при разработке НГМ служит инструментом для визуализации механизма стратегического развития, соответствующего установленной цели (см. рисунок 6)⁹. На данной карте обозначены целевые ориентиры для каждого из ключевых компонентов. Под «ключевыми компонентами» понимаются составляющие стратегической карты: «Финансы региона», «Общество и рынок», «Промышленность и предпринимательство», «Наука и инновации (в обучении и обществе)». Видно, как нематериальные активы в области «Наука и инновации (в обучении и обществе)» преобразуются в конкретные финансовые результаты, которые могут быть достигнуты при условии выполнения целевых ориентиров, указанных в компоненте «Финансы региона».

Стоит отметить, что стадии ЖЦ объекта обустройства НГМ — «Проектирование», «Освоение месторождения» и «Демонтаж» — тесно связаны со стратегической картой ЦТ субъектов экономической деятельности. Данная взаимосвязь приведена в таблице 1.

⁶ Национальные проекты России. «Экономика данных». <https://xn--80aapampemchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/ekonomika-dannykh/>.

⁷ Национальные проекты России. «Средства производства и автоматизации». <https://xn--80aapampemchfmo7a3c9ehj.xn--p1ai/new-projects/sredstva-proizvodstva-i-avtomatizatsii/>.

⁸ Постановление Правительства "Об утверждении Стратегии в области цифровой трансформации отраслей экономики, социальной сферы и государственного управления Ямало-Ненецкого автономного округа" от 20 августа 2021 г с изменениями на 17 декабря 2024 г. № 117-ПГ // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов.

⁹ Стратегическая карта читается снизу-вверх, т.е. с уровня составляющей «Наука и инновации (в обучении и обществе)» до составляющей «Финансы региона». Подразумевается, что индикаторы контроля, которые формируют панель данных на нижнем уровне, оказывают влияние на последующий уровень стратегической карты, тем самым происходит процесс преобразования нематериальных активов в конкретные финансовые результаты.



Рисунок 6 – Стратегическая карта цифровой трансформации субъектов экономической деятельности при разработке нефтегазового месторождения

Таблица 1 – Взаимосвязь стадий ЖЦ объектов обустройства нефтегазового месторождения с составляющими стратегической карты (без детализации специфики предметной области, которая присутствует на более низком уровне декомпозиции стратегической карты)

Стадия ЖЦ / Составляющая стратегической карты	Проектирование	Освоение месторождения	Демонтаж
<i>Финансы региона</i>	Осуществляется оценка финансовых затрат и потенциальной прибыли от разработки месторождения. Цифровые инструменты (например, модели прогнозирования) помогают оптимизировать бюджет и привлечь инвестиции.	Стадия оказывает прямое влияние на финансовые поступления в регион через налоги и отчисления. Цифровизация процессов позволяет повысить эффективность и снизить затраты.	Стадия требует значительных финансовых вложений, которые могут быть оптимизированы с помощью цифровых решений для управления проектами и ресурсами проекта стадии Демонтаж.
<i>Общество и рынок</i>	Происходит анализ социальных аспектов, таких как влияние на местные сообщества. Участие общественности в проектировании через цифровые платформы способствует повышению прозрачности и доверия.	Стадия требует взаимодействия с местным населением, что может быть поддержано цифровыми платформами для обратной связи и информирования о проводимых работах.	Демонтаж объектов должен учитывать экологические аспекты и безопасность населения. Цифровые платформы могут использоваться для информирования общественности о процессе и его последствиях.
<i>Промышленность и предпринимательство</i>	Использование инновационных технологий в проектировании способствует развитию местной промышленности, создавая спрос на услуги и продукты.	Освоение месторождения создаёт рабочие места и стимулирует развитие смежных отраслей. Цифровые решения могут помочь в управлении ресурсами и оптимизации производственных процессов.	Стадия открывает возможности для бизнеса в области утилизации и переработки материалов. Цифровизация процессов демонтажа может повысить их эффективность.
<i>Наука и инновации (в обучении и обществе)</i>	Применение научных исследований для разработки эффективных технологий. Сотрудничество с научными учреждениями может привести к внедрению инновационных решений.	Внедрение цифровых технологий позволяет улучшить эксплуатацию месторождения. Исследования в области экологии и безопасности также становятся важными.	Исследования в области устойчивого демонтажа и реабилитации территорий могут привести к внедрению новых методов работы.

Для стратегической карты ЦТ субъектов экономической деятельности при разработке НГМ (рисунок 6), в рамках целевых ориентиров, определены цели и индикаторы контроля (см. таблицу 2). Индикаторы контроля формировались в соответствии с выборкой показателей релевантных для рассматриваемого объекта и предмета исследования, которые в т.ч. отражают аспекты ЦТ для НГМ с ориентиром на развитие строительного комплекса региона. Для детализации индикаторов контроля в качестве примера выбрана составляющая «Общество и рынок» стратегической карты, как ключевой элемент, определяющий взаимодействие НГМ с внешней средой. В рамках этой составляющей акцентируется внимание на развитии строительного комплекса, инновационных и цифровых аспектах развития, а также на общем развитии населения, что в совокупности оказывает влияние на устойчивое развитие региона.

Таблица 2 – Детализация составляющей «Общество и рынок» стратегической карты цифровой трансформации

Цель	Индикатор контроля	Тип индикатора
<i>Рост уровня развития строительного комплекса региона</i>		
Обеспечение роста уровня развития строительного комплекса региона для НГМ	Доля Валового регионального продукта (ВРП) по виду экономической деятельности «Строительство», % (в текущих основных ценах; в % к итогу)	количественный
	Доля ВРП по виду экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых», % (в текущих основных ценах; в % к итогу)	количественный
<i>Рост уровня развития науки и инноваций</i>		
Обеспечение роста уровня развития науки и инноваций	Доля ВРП по виду деятельности - профессиональная, научная и техническая, % (в текущих основных ценах; в % к итогу)	количественный
<i>Рост уровня развития цифровых технологий</i>		
Обеспечение роста уровня развития цифровых технологий	Доля ВРП по виду деятельности в области информации и связи, % (в текущих основных ценах; в % к итогу)	количественный
Повышение уровня цифровой грамотности населения	Уровень цифровой грамотности	качественный
Разработаны цифровые платформы	Количество доступных цифровых платформ, ед.	количественный
<i>Рост уровня жизни населения</i>		
Обеспечение роста жизни населения	Индекс человеческого развития	качественный
	Качество жизни	качественный

Выбранные индикаторы контроля в рамках составляющей «Общество и рынок» стратегической карты ЦТ НГМ подчёркивают важность комплексного подхода к оценке влияния нефтегазовой деятельности на экономическое и социальное развитие региона.

Заключение

ЦТ проектирования НГМ может повысить гибкость, эффективность и устойчивость на всех стадиях ЖЦ объекта. Результаты исследования отражают как стадии ЖЦ объекта обустройства НГМ взаимосвязаны с технологиями ЦТ, а также какое влияние цифровые технологии оказывают на каждую стадию ЖЦ.

ЖЦ обустройства месторождения включает три стадии: «Проектирование», «Освоение месторождения» и «Демонтаж». Созданная матрица показывает применяемые цифровые технологии на каждой стадии ЖЦ. Использование данной матрицы может способствовать целенаправленному и обоснованному выбору технологий.

Построенная онтология отражает ключевые отношения между стадиями обустройства НГМ, задачами и ресурсами, необходимыми для их осуществления, а также цифровыми технологиями, применение которых позволит ускорить реализацию поставленных задач.

Стратегическая карта ЦТ показывает взаимосвязь между цифровыми технологиями и стратегическими целями субъектов экономической деятельности региона, что может способствовать целенаправленному внедрению цифровых технологий и инноваций, позволяя интегрировать их в общую стратегию развития региона.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] **Шелпаева А.Х.** Цифровая трансформация: основные подходы к определению понятия. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Информатизация образования*. 2022. Т.19. №1. С.20-28. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-1-20-28.
- [2] **Курочкина А.А., Намазов К.А.** Цифровая трансформация как основное направление эволюции бизнеса: обзор литературы. *Прогрессивная экономика*. 2023. №7. С.20-41. DOI: 10.54861/27131211_2023_7_20.
- [3] **Ciancarini P., Giancarlo R., Grimaudo G.** Digital transformation in the public administrations: A guided tour for computer scientists. *IEEE Access*. 2024. Vol.12. P.22841-22865. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3363075.
- [4] **Кокова С.Ф., Дышекова А.А.** Цифровая трансформация отраслей: стартовые условия и приоритеты. *Журнал прикладных исследований*. 2022. Т.7. №6. С.577-585. DOI: 10.47576/2712-7516_2022_6_7_577.
- [5] **Богачев Ю.С., Беклулова С.Р.** Цифровизация как способ повышения эффективности управления промышленностью России. *Национальная безопасность/nota bene*. 2023. №3. С.79-91. DOI: 10.7256/2454-0668.2023.3.43718.
- [6] **Крохина П.А., Субботина Т.Н.** Влияние цифровизации на эффективность деятельности организаций. *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2024. №3-1(109). С.191-195. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-3-1-191-195.
- [7] **Шастов А.А.** Влияние цифровой трансформации на бизнес-процессы и модели: перспективы и вызовы. *Инновации и инвестиции*. 2024. №. 2. С.222-225. DOI: 10.24412/2307-180X-10.24412/2307-180X-2-222-225.
- [8] **Скворцова Н.А., Захаров А.В., Булатов И.И.** Цифровая трансформация бизнес-процессов на основе технологий искусственного интеллекта (российский и международный опыт). *Экономика, предпринимательство и право*. 2025. Т.15. №1. С.131-152. DOI: 10.18334/epp.15.1.122526.
- [9] **Рыбкина Г.В., Зайцева И.А., Логинова С.А., Симагин А.В.** Промышленная цифровизация в строительстве: многоаспектный подход и ключевые технологии. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия*. 2024. №. 2 (48). С.77-84. DOI: 10.52684/2312-3702-2024-48-2-77-84.
- [10] **Шутова М.Н., Плахутина А.А., Кужелева В.А.** Применение BIM-технологий при разработке архитектурных, конструктивных и организационно-технологических решений промышленного здания. *Строительство и архитектура*. 2021. №4. С.71-75.
- [11] **Абрамян С.Г., Бурлаченко О.В., Оганесян О.В., Бурлаченко А.О., Шаюнусов А.Р.** BIM-технологии в строительстве: функции, развитие и опыт применения. *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2021. №1. С.323-332.
- [12] **Мысовских Д.А., Овчинников И.Г.** Building information modeling в строительстве. Опыт использования. Проблемы внедрения. *Вестник евразийской науки*. 2021. Т.13. №2. С.1-10.
- [13] **Сухомлин В.А., Намиот Д.Е., Гапанович Д.А.** Анализ тенденций развития цифровых двойников нового поколения. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024. Т. 12. №. 7. С.119-130.
- [14] **Сосфенов Д.А., Шахова М.С.** Применение технологии цифровых двойников в России: возможности развития и сдерживающие факторы. *Экономика и управление*. 2023. Т. 29. №. 11. С.1325-1332. DOI: 10.35854/1998-1627-2023-11-1325-1332.
- [15] **Noman A.H.M., Mustaqim S.M., Molla S., Siddique I.M.** Enhancing Operations Quality Improvement through Advanced Data Analytics. *Journal of Computer Science Engineering and Software Testing*. 2024. Vol.10. No.1. P.1-14. DOI: 10.46610/JOCSES.2024.v10i01.001.
- [16] **Carvajal G., Maucec M., Cullick S.** Intelligent digital oil and gas fields: concepts, collaboration, and right-time decisions. Gulf Professional Publishing, 2017. 351 p.
- [17] **Wanasinghe T.R., Gosine R.G., Silva O.S., Mann G.K.I., James L.A., Warriar P.** Unmanned aerial systems for the oil and gas industry: Overview, applications, and challenges. *IEEE access*. 2020. Vol. 8. P.166980-166997. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3020593.
- [18] **Temizel C., Canbaz C.H., Palabiyik Y., Putra D., Asena A., Ranjith R., Jongkittinarukorn K.** A comprehensive review of smart/intelligent oilfield technologies and applications in the oil and gas industry. *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. SPE, 2019. P.D042S087R001. DOI: 10.2118/195095-MS.
- [19] **Lee C.Y., Chong H.Y., Wang X.** Streamlining digital modeling and building information modelling (BIM) uses for the oil and gas projects. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018. Vol. 25. No. 2. P.349-396. DOI: 10.1007/s11831-016-9201-4.
- [20] **Bezkorovayniy V., Bayazitov V., Bobov D.** Management of the design and construction of offshore oil and gas facilities with BIM Base. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. Vol. 463. No. 4. P.042056. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042056.
- [21] **Alsofiani M.A.** Digitalization in infrastructure construction projects: A prisma-based review of benefits and obstacles. *arXiv preprint arXiv:2405.16875*. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2405.16875.

- [22] **Olawumi T.O., Chan D.W.M., Wong J.K.W., Chan A.P.C.** Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Journal of Building Engineering*. 2018. Vol.20. P.60-71. DOI: 1016/j.jobe.2018.06.017.
- [23] **Чернов С.Б., Новикова О.С.** Обеспечение безопасности данных в условиях цифровой экономики. *Экономические науки*. 2020. №. 189. С.104-109. DOI: 10.14451/1.189.104.
- [24] **Stewart H.** Digital transformation security challenges. *Journal of Computer Information Systems*. 2023. Vol.63. No.4. P.919-936. DOI: 10.1080/08874417.2022.2115953.
- [25] **Pimenov S.I.** The state and prospects of a multi-level planning system for construction projects in the context of digital transformation. *Construction and Geotechnics*. 2022. Vol.13. No.2. P.55-66. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.05.
- [26] **Flaksman A.S., Kokurin D.I., Khodzhaev D.K., Ekaterinovskaya M.A., Orusova O.V., Vlasov A.V.** Assessment of prospects and directions of digital transformation of oil and gas companies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020. Vol.976. No.1. P.012036. DOI: 10.1088/1757-899X/976/1/012036.
- [27] **Dorador J.M., Young R.I.M.** Application of IDEF0, IDEF3 and UML methodologies in the creation of information models. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2000. Vol. 13. No. 5. P.430-445. DOI: 10.1080/09511920050117928.
- [28] **Марьясин О.Ю.** Разработка онтологий для цифрового двойника зданий. *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9. №. 4 (34). С.480–495. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-480-495.
- [29] **Массель Л.В., Воронцова Т.Н.** Онтологический подход к построению цифровых двойников объектов и систем энергетики. *Онтология проектирования*. 2020. Т. 10. №. 3 (37). С.327-337. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [30] **Kaplan R.S., Norton D.P.** Strategy maps: Converting intangible assets into tangible outcomes. – Harvard Business Press, 2004. 293 p.
- [31] **Козлов А.В., Гутман С.С., Зайченко И.М., Рытова Е.В.** Комплекс региональных индикаторов как инструмент формирования стратегии инновационно-промышленного развития районов Крайнего Севера. *π-Economy*. 2016. №. 4 (246). С.252-263. DOI: 10.5862/πE.246.22.
- [32] **Козлов А.В., Терешко Е.К.** Стратегическая карта развития образовательной системы Мурманской области в условиях цифровой трансформации экономики. *Север и рынок: формирование экономического порядка*. 2018. №4(18). С.111-122. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.4.2018.60.111-122.
- [33] **Томпсон-мл. А.А., Артур А., Стрикленд III А.Дж.** Стратегический менеджмент: концепции и ситуации для анализа, 12-е издание: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. 928 с.

Сведения об авторах



Терешко Екатерина Кирилловна, 1996 г. рождения. Окончила СПбПУ (аспирантура) 2023 г., к.э.н. (2024). Научный сотрудник лаборатории промышленных систем потоковой обработки данных ПИШ «Цифровой инжиниринг» СПбПУ. Старший преподаватель Высшей инженерно-экономической школы, ИПМЭиТ, СПбПУ. В списке научных трудов более 50 работ в области развития строительного комплекса, цифровой трансформации, автоматизации проектирования и стратегического развития регионов. Author ID (РИНЦ): 943319; Author ID (Scopus): 57204719810; Researcher ID (WoS): AVH-2326-2020; ORCID ID: 0000-0001-7117-7549. ektereshko@mail.ru. ✉.

Малашенко Марина Руслановна, 2001 г. рождения. Окончила СПбПУ в 2023 г. Аналитик лаборатории промышленных систем потоковой обработки данных ПИШ «Цифровой инжиниринг» СПбПУ. В списке научных трудов около 15 работ, посвященных экономике северных регионов и нефтегазовой отрасли. ORCID ID: 0009-0008-5130-1774; Author ID (РИНЦ): 1247088. malashenko.marina.r@yandex.ru



Середин Евгений Петрович, 2001 г. рождения. Закончил СПбПУ в 2023 г. Аналитик лаборатории промышленных систем потоковой обработки данных ПИШ «Цифровой инжиниринг» СПбПУ. В списке научных трудов около 10 работ, посвященных инновациям в энергетике и устойчивому развитию. ORCID ID: 0009-0003-6108-0323 Author ID (РИНЦ): 1246429. seredin.evgeny2010@yandex.ru



Поступила в редакцию 13.03.2025, после рецензирования 02.07.2025. Принята к публикации 10.07.2025.



Digital transformation of industrial facility processes of oil and gas field

© 2025, E.K. Tereshko ✉, M.R. Malashenko, E.P. Seredin

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU), St. Petersburg, Russia

Abstract

The article explores the impact of digital transformation on the processes associated with industrial facilities in the oil and gas sector, with the aim of enhancing their efficiency. The object of the study is the economic entities involved in the operation of an oil and gas field, while the focus is on the integration of advanced digital technologies — such as the Internet of Things, building information modeling (BIM), additive manufacturing, robotics, and artificial intelligence — across the entire life cycle of industrial facilities. The application of digital tools is examined at various life cycle stages, from conceptual design through facility commissioning to decommissioning. The article outlines the stages of the field development life cycle — "Design," "Field Development," and "Decommissioning"— and provides a detailed breakdown of the "Design" and "Field Development" phases. A matrix linking digital technologies to specific life cycle stages of oil and gas field development has been formed, serving as the foundation for constructing an ontology of facility development. Based on this framework, the authors propose recommendations to support the digital transformation of economic entities involved in oil and gas field development, presented in the form of a strategic roadmap.

Keywords: digital transformation, oil and gas field, life cycle, digital technologies, scorecard, strategic roadmap, ontology.

For citation: Tereshko EK, Malashenko MR, Seredin EP. Digital transformation of industrial facility processes of oil and gas field [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2025; 15(3): 376-389. DOI: 10.18287/2223-9537-2025-15-3-376-389.

Authors' contributions: Tereshko E.K. – research problem statement, concept, methodology; Malashenko M.R. – data collections and systematization; Seredin E.P. – data visualization.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

List of figures and tables

- Figure 1 – Decomposition scheme of the life cycle stages of oil and gas field infrastructure facilities at level A0
- Figure 2 – Decomposition scheme of level A1 “Design”
- Figure 3 – Decomposition scheme “Field development” (A2)
- Figure 4 – Matrix of the correspondence between digital technologies and the life cycle stages of an oil and gas field infrastructure facility
- Figure 5 – Fragment of the ontology of oil and gas field infrastructure development
- Figure 6 – Strategic roadmap for the digital transformation of economic entities involved in oil and gas field development
- Table 1 – Relationship between the life cycle stages of oil and gas field infrastructure facilities and the components of the strategic roadmap
- Table 2 – Breakdown of the “Society and Market” component of the strategic roadmap for digital transformation

References

- [1] *Shelepaeva AH*. Digital transformation: basic approaches to the definition of the concept [In Russian]. *Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Informatization of education*. 2022; 19(1): 20-28. DOI: 10.22363/2312-8631-2022-19-1-20-28.
- [2] *Kurochkina AA, Namazov KA*. Digital transformation as the main direction of business evolution: a literature review [In Russian]. *Progressive economy*. 2023; 7: 20-41. DOI: 10.54861/27131211_2023_7_20.
- [3] *Ciancarini P, Giancarlo R, Grimaudo G*. Digital transformation in the public administrations: A guided tour for computer scientists. *IEEE Access*. 2024; 12: 22841-22865. DOI: 10.1109/ACCESS.2024.3363075.

- [4] **Kokova SF, Dyshekova AA.** Digital transformation of industries: starting conditions and priorities [In Russian]. *Journal of Applied Research*. 2022; 7(6): 577-585. DOI: 10.47576/2712-7516_2022_6_7_577.
- [5] **Bogachev YuS, Bekulova SR.** Digitalization as a way to increase the efficiency of industrial management in Russia [In Russian]. *National security/nota bene*. 2023; 3: 79-91. DOI: 10.7256/2454-0668.2023.3.43718.
- [6] **Krokhina PA, Subbotina TN.** The impact of digitalization on the effectiveness of organizations [In Russian]. *Economics and Business: theory and practice*. 2024; 3-1 (109): 191-195. DOI: 10.24412/2411-0450-2024-3-1-191-195.
- [7] **Shastov AA.** The impact of digital transformation on business processes and models: prospects and challenges [In Russian]. *Innovation and investment*. 2024; 2: 222-225. DOI: 10.24412/2307-180X-10.24412/2307-180X-2-222-225.
- [8] **Skvortsova NA, Zakharov AV, Bulatov II.** Digital transformation of business processes based on artificial intelligence technologies (Russian and international experience) [In Russian]. *Economics, entrepreneurship and law*. 2025; 15(1): 131-152. DOI: 10.18334/epp.15.1.122526.
- [9] **Rybkina GV, Zaitseva IA, Loginova SA, Simagin AV.** Industrial digitalization in construction: a multidimensional approach and key technologies [In Russian]. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2024; 2(48): 77-84. DOI: 10.52684/2312-3702-2024-48-2-77-84.
- [10] **Shutova MN, Plakhutina AA, Kuzheleva VA.** The use of BIM technologies in the development of architectural, structural, organizational and technological solutions for industrial buildings [In Russian]. *Construction and architecture*. 2021; 4: 71-75.
- [11] **Abrahamyan SG, Burlachenko OV, Oganessian OV, Burlachenko AO, Shayunusov AR.** BIM technologies in construction: functions, development and application experience [In Russian]. *Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture*. 2021; 1: 323-332.
- [12] **Mysovskikh DA, Ovchinnikov IG.** Building information modeling in construction. User experience. Problems of implementation [In Russian]. *Bulletin of Eurasian Science*. 2021; 13(2): 1-10.
- [13] **Sukhomlin VA, Namiot DE, Gapanovich DA.** Analysis of trends in the development of digital twins of a new generation [In Russian]. *International Journal of Open Information Technologies*. 2024; 12(7): 119-130.
- [14] **Sosfenov DA, Shakhova MS.** Application of digital twin technology in Russia: development opportunities and constraints [In Russian]. *Economics and management*. 2023; 29(11): 1325-1332. DOI: 10.35854/1998-1627-2023-11-1325-1332.
- [15] **Noman AHM, Mustaqim SM, Molla S, Siddique IM.** Enhancing Operations Quality Improvement through Advanced Data Analytics. *Journal of Computer Science Engineering and Software Testing*. 2024; 10(1): 1-14. DOI: 10.46610/JOCSES.2024.v10i01.001.
- [16] **Carvajal G, Maucec M, Cullick S.** Intelligent digital oil and gas fields: concepts, collaboration, and right-time decisions. Gulf Professional Publishing, 2017.
- [17] **Wanasinghe TR, Gosine RG, Silva OS, Mann GKI, James LA, Warriani P.** Unmanned aerial systems for the oil and gas industry: Overview, applications, and challenges. *IEEE access*. 2020; 8: 166980-166997. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3020593.
- [18] **Temizel C, Canbaz CH, Palabiyik Y, Putra D, Asena A, Ranjith R, Jongkittinarukorn K.** A comprehensive review of smart/intelligent oilfield technologies and applications in the oil and gas industry. *SPE Middle East Oil and Gas Show and Conference*. SPE, 2019; D042S087R001. DOI: 10.2118/195095-MS.
- [19] **Lee CY, Chong HY, Wang X.** Streamlining digital modeling and building information modelling (BIM) uses for the oil and gas projects. *Archives of Computational Methods in Engineering*. 2018; 25(2): 349-396. DOI: 10.1007/s11831-016-9201-4.
- [20] **Bezkorovayniy V, Bayazitov V, Bobov D.** Management of the design and construction of offshore oil and gas facilities with BIM Base. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018; 463(4): 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/463/4/042056.
- [21] **Alsofiani MA.** Digitalization in infrastructure construction projects: A prisma-based review of benefits and obstacles. *arXiv preprint arXiv:2405.16875*. 2024. DOI: 10.48550/arXiv.2405.16875.
- [22] **Olawumi TO, Chan DWM, Wong JKW, Chan APC.** Barriers to the integration of BIM and sustainability practices in construction projects: A Delphi survey of international experts. *Journal of Building Engineering*. 2018; 20: 60-71. DOI: 1016/j.jobe.2018.06.017.
- [23] **Chernov SB, Novikova OS.** Ensuring data security in the digital economy [In Russian]. *Economic sciences*. 2020; 189: 104-109. DOI: 10.14451/1.189.104.
- [24] **Stewart H.** Digital transformation security challenges. *Journal of Computer Information Systems*. 2023; 63(4): 919-936. DOI: 10.1080/08874417.2022.2115953.
- [25] **Pimenov SI.** The state and prospects of a multi-level planning system for construction projects in the context of digital transformation. *Construction and Geotechnics*. 2022; 13(2): 55-66. DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.05.

- [26] **Flaksman AS, Kokurin DI, Khodzhaev DK, Ekaterinovskaya MA, Orusova OV, Vlasov AV.** Assessment of prospects and directions of digital transformation of oil and gas companies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2020; 976(1): 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/976/1/012036.
- [27] **Dorador JM, Young RIM.** Application of IDEF0, IDEF3 and UML methodologies in the creation of information models. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2000; 13(5): 430-445. DOI: 10.1080/09511920050117928.
- [28] **Maryasin OY.** Development of ontologies for the digital twin of buildings [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(4(34)): 480-495. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-4-480-495.
- [29] **Massel LV, Vorozhtsova TN.** Ontological approach to the construction of digital twins of energy objects and systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2020; 10(3(37)): 327-337. DOI: 10.18287/2223-9537-2020-10-3-327-337.
- [30] **Kaplan RS, Norton DP.** Strategy maps: Converting intangible assets into tangible outcomes. – Harvard Business Press, 2004.
- [31] **Kozlov AV, Gutman SS, Zaichenko IM, Rytova EV.** A set of regional indicators as a tool for forming a strategy for innovative and industrial development of the Far North regions [In Russian]. *π-Economy*. 2016; 4(246): 252-263. DOI: 10.5862/JE.246.22.
- [32] **Kozlov AV, Tereshko EK.** Strategic map for the development of the educational system of the Murmansk region in the context of the digital transformation of the economy [In Russian]. *The North and the market: the formation of an economic order*. 2018; 4(18): 111-122. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.4.2018.60.111-122.
- [33] **Thompson JrAA, Arthur A, Strickland III AJ.** Strategic Management: Concepts and Situations for Analysis [In Russian], 12th edition: Translated from English, Moscow: Williams Publishing House, 2002. 928p.

About the authors

Ekaterina Kirillovna Tereshko (b. 1996) graduated from the postgraduate program of SPbPU in 2023, PhD in Economics (2024). Researcher at the Laboratory of Industrial Streaming Data Processing Systems, Advanced Engineering School “Digital Engineering”, SPbPU. Senior lecturer at the Higher School of Engineering and Economics, Institute of Industrial Management, Economics and Trade, SPbPU. The list of scientific papers includes more than 50 works in the field of construction complex development, digital transformation, automation of design and strategic development of regions. Author ID (RSCI): 943319; Author ID (Scopus): 57204719810; Researcher ID (WoS): ABH-2326-2020; ORCID ID: 0000-0001-7117-7549. ektereshko@mail.ru. ✉.

Marina Ruslanovna Malashenko (b. 2001) graduated from SPbPU in 2023. Analyst at the Laboratory of Industrial Streaming Data Processing Systems, Advanced Engineering School “Digital Engineering”, SPbPU. The list of scientific papers includes about 15 works devoted to the economy of the northern regions and the oil and gas industry. ORCID ID: 0009-0008-5130-1774; Author ID (RSCI): 1247088. malashenko.marina.r@yandex.ru.

Evgeny Petrovich Seredin (b. 2001) graduated from SPbPU in 2023. Analyst at the Laboratory of Industrial Streaming Data Processing Systems, Advanced Engineering School “Digital Engineering”, SPbPU. The list of scientific papers includes about 10 works dedicated to innovations in the energy sector and sustainable development. ORCID ID: 0009-0003-6108-0323 Author ID (RSCI): 1246429. seredin.evgeny2010@yandex.ru.

Received March 13, 2025. Revised July 02, 2025. Accepted July 10, 2025.