

Научная статья

УДК 519.876.5

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.1.5>

ТИПОВАЯ МОДЕЛЬ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА НАУКОЕМКОГО ПРОЕКТА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Арина Абрамова^{id}, Алексей Гинцяк^{id}, Сергей Редько^{id}, Карина Лундаева*^{id}

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация, a9313118506@mail.ru, alexey_ginc@mail.ru, redko@acea.neva.ru, karina.lundaeva@spbpu.com

*Автор, ответственный за переписку: lundaeva@spbpu.com

Аннотация

Данная статья посвящена разработке типовой модели жизненного цикла наукоемкого проекта на предприятиях нефтегазовой отрасли в целях получения точных прогнозов сроков исполнения проектов. Актуальность работы заключается в повышении точности используемых предприятиями нефтегазовой отрасли прогностических моделей в сфере проектного управления и в соответствующем повышении конкурентных преимуществ за счет снижения рисков срыва сроков выполнения проектов. В ходе исследования был проведен анализ основных этапов жизненного цикла наукоемких проектов и специфики каждого из этапов. Для разработки типовой модели был выбран системно-динамический подход для визуализации причинно-следственных связей между переменными состояния системы и описания этих связей в форме структурированных функциональных зависимостей. В результатах исследования представлена типовая системно-динамическая модель жизненного цикла наукоемкого проекта в нефтегазовой отрасли, содержащая основные этапы реализации проектов от процесса анализа требований до внедрения и сопровождения проектных результатов. В качестве вспомогательных процессов в модели отражены этапы прохождения аудиторской проверки. Модель может быть использована для оценки сроков исполнения проекта в зависимости от установленных значений влияющих параметров на исследуемом предприятии в целях принятия управленческих решений в сфере проектного менеджмента. Перспективами исследования являются ввод в модель учета возникновения инвестиционных рисков, а также возможности количественной оценки их возникновения.

Ключевые слова: жизненный цикл проекта, наукоемкие проекты, нефтегазовой отрасли, модель жизненного цикла, модель управления проектом, имитационное моделирование, системная динамика.

Цитирование: Абрамова, А., Гинцяк, А., Редько, С., Лундаева, К., 2025. Типовая Модель Жизненного Цикла Наукоемкого Проекта на Предприятиях Нефтегазовой Отрасли. Sustainable Development and Engineering Economics 1, 5. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.1.5>

Эта работа распространяется под лицензией [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Абрамова, А., Гинцяк, А., Редько, С., Лундаева, К., 2025. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Research Article

DOI: <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.1.5>

DEVELOPMENT OF A TYPICAL LIFE CYCLE MODEL OF A KNOWLEDGE-INTENSIVE PROJECT AT OIL AND GAS INDUSTRY ENTERPRISES

Arina Abramova^{}, Aleksei Gintciak^{}, Sergey Redko^{}, Karina Lundaeva*^{}

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation,
a9313118506@mail.ru, aleksei.gintciak@spbpu.com, redko_sg@spbstu.ru, karina.lundaeva@spbpu.com

*Corresponding author: karina.lundaeva@spbpu.com

Abstract

This article is devoted to the development of a standard model of the life cycle of a knowledge-intensive project at oil and gas enterprises in order to obtain accurate forecasts of project deadlines. The relevance of the work lies in improving the accuracy of the forecast models used by oil and gas enterprises in project management and the corresponding increase in competitive advantages by reducing the risks of project deadline failures. The study analyzed the main stages of the life cycle of knowledge-intensive projects and the specifics of each stage. To develop a standard model, a system-dynamic approach was chosen to visualize cause-and-effect relationships between the variables of the system state and to describe these relationships in the form of structured functional dependencies. The results of the study present a standard system-dynamic model of the life cycle of a knowledge-intensive project in the oil and gas industry, containing the main stages of project implementation from the process of requirements analysis to the implementation and support of project results. The stages of passing the audit review are reflected in the model as auxiliary processes. The model can be used to estimate the project execution time depending on the established values of the influencing parameters at the enterprise under study, for the purpose of making management decisions in project management. The prospects of the study are the introduction of an accounting of the occurrence of investment risks into the model, as well as the possibility of a quantitative assessment of their occurrence.

Keywords: project life cycle, knowledge-intensive projects, oil and gas industry, life cycle model, project management model, simulation modeling, system dynamics.

Citation: Abramova, A., Gintciak, A., Redko, S., Lundaeva, K., 2025. Development of a typical life cycle model of a knowledge-intensive project at oil and gas industry enterprises. Sustainable Development and Engineering Economics 1, 5. <https://doi.org/10.48554/SDEE.2025.1.5>

This work is licensed under a [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

© Abramova, A., Gintciak, A., Redko, S., Lundaeva, K., 2025. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

1. Введение

Повышение показателей эффективности процессов деятельности – важнейшая цель стратегической инициативы компаний различных отраслей экономики. Для достижения этой цели реализуются инженерные, инновационные и наукоемкие проекты, которые позволяют значительно повысить эффективность производственных процессов (Tsiglianu et al. 2023). На этапах жизненного цикла большинство наукоемких проектов сталкиваются с отставаниями от поставленного графика реализации и с возрастанием затрат (Zykova & Agaurov, 2023). Данная проблема связана с тем, что целью наукоемких проектов является внедрение новых технологий, что требует дополнительного времени на исследования, разработку и тестирование. Также значительная часть рисков при планировании сроков проекта может быть связана с длительным согласованием этапов, недостатками в моделировании процессов, нечеткими процедурами контроля и распределения ответственности между сторонами, задействованными в проекте (Al-Hazaali & Kelchevskaya, 2022).

Нефтегазовая отрасль является одной из ведущих частей топливно-энергетического комплекса России (Shabanova & Aleksandrova, 2016). Данный сектор экономики занимает лидирующие позиции по количеству разрабатываемых цифровых решений и использованию искусственного интеллекта при реализации наукоемких проектов. Наукоемкие проекты становятся неотъемлемой частью стратегического развития нефтегазовых компаний в условиях роста доли трудноизвлекаемых запасов, требующих высокотехнологичных решений в отрасли (Filimonova et al., 2020).

Наукоемкие проекты, реализуемые в нефтегазовой отрасли, особенно требуют эффективного управления на протяжении всего жизненного цикла. Такой подход предусматривает своевременное выявление, оценку рисков и предотвращение возможных негативных последствий (Ilin et al., 2021).

При выявлении проблем управления первоначально приступают к анализу жизненного цикла наукоемкого проекта (Abdulkadyrov et al., 2021). Однако существующие модели жизненного цикла зачастую не учитывают отраслевых особенностей предприятий, что влечет за собой недостаточную точность результатов модельной оценки и низкую эффективность использования таких моделей в проектном управлении (Tsiglianu et al., 2023).

Проблема, поставленная в исследовании, заключается в несовершенстве существующих моделей жизненного цикла и сложности их адаптации к управлению наукоемкими проектами в нефтегазовой отрасли. Актуальность решения обосновывается необходимостью получения точных оценок параметров реализации проекта, в частности сроков реализации как отдельных этапов, так и проекта в целом. Повышение точности прогноза сроков исполнения проектов позволит компаниям нефтегазовой отрасли повысить конкурентные преимущества за счет снижения рисков срыва сроков.

Цель работы заключается в разработке типовой модели жизненного цикла наукоемкого проекта на предприятиях нефтегазовой отрасли, которая позволит более точно прогнозировать сроки исполнения проектов за счет учета влияния отраслевых особенностей. В задачи исследования входят выявление основных этапов жизненного цикла наукоемких проектов и их специфики, выбор математического аппарата и

инструмента моделирования жизненного цикла, а также разработка модели жизненного цикла научеомкого проекта в нефтегазовой отрасли.

2. Литературный обзор

При решении задачи построения прогноза сроков исполнения научеомких проектов в нефтегазовой отрасли и в процессе разработки типовой модели жизненного цикла необходим выбор формализованного инструмента, позволяющего планировать распределение ресурсов как в рамках одного проекта, так и в рамках портфеля проектов. Формализованные методы принятия управленческих решений позволяют количественно оценить характеристики состояний объекта и использовать их для оценки возможных вариантов решений, а также выбора и обоснования оптимального решения (Belitskaya, 2020).

К формализованным методам принятия управленческих решений относятся экономико-математические модели и методы, системный анализ, экспертные оценки (López-Robles et al., 2019). Также в укрупненной группе математического методов выделяют аналитическое и имитационное моделирование. Имитационное моделирование по методу статистических испытаний Монте-Карло является формализованным методом принятия решений (Valdman & Malyarenko, 2020; Bolsunovskaya et al., 2023). Применение методов симуляции процессов на этапе проектирования системы позволяет оценить альтернативы реализаций процессов и провести их сравнения по результатам экспериментов с различными вариантами («что – если») в целях принятия обоснованных управленческих решений (Maslikova & Redko, 2013).

Так, применение имитационного моделирования при исследовании жизненного цикла проекта позволит еще до начала проекта определить, целесообразна ли его реализация, какие ресурсы и в каком объеме потребуются, а также построить прогноз сроков реализации проекта. С использованием имитационной модели возможно отследить степень влияния определенных параметров на итоговые показатели проекта. Информация о текущих и прогнозируемых показателях может быть использована для настройки имитационной модели и анализа результатов симуляции и последующих процедур выработки рекомендаций для лиц, принимающих решения (Bystrov & Masloboev, 2018).

Выделяют три парадигмы имитационного моделирования – системную динамику, дискретно-событийное моделирование и агентное моделирование. В зависимости от целей исследования и особенностей моделируемого объекта для решения конкретных управленческих задач необходим выбор подходящего подхода. Подходы отличаются уровнем абстракции и детализации при описании реального объекта, элементами моделей и математической базой (Maslikova & Redko, 2013).

В парадигме агентного моделирования агент представляет собой индивидуализированный активный объект. В зависимости от сложности главного элемента модель можно отнести к высокому, среднему или низкому уровню абстракции. Агенты в одной модели могут быть разнородными и взаимодействовать между собой. Агентное моделирование успешно применяется в социально-экономических системах, таких как городская среда (Ettema et al., 2007) и рынок труда (Gorelova & Mandel, 2012).

Дискретно-событийное моделирование соответствует среднему и низкому уровню абстракции. Элементы дискретно-событийных моделей – это сущности (элементы,

движущиеся по процессу и обладающие набором параметров), события (изменения свойств или статусов сущностей) и ресурсы. Сущности поступают на вход в систему, перемещаются через процессы, образуют очереди, захватывают и освобождают ресурсы и выходят из системы (Dadenkov & Kon, 2015). Математическая база этого подхода – теория конечных автоматов. Наиболее широкое применение дискретно-событийный подход находит в моделировании систем массового обслуживания и применяется для обнаружения узких мест для дальнейшей оптимизации использования ресурсов (Makunina & Nikonchuk, 2022).

Системная динамика соответствует высокому уровню абстракции. Этот подход оперирует тремя объектами: запасами (накапливаемые интегральные величины), потоками (величины, изменяющие значения запасов) и конверторами (вспомогательные величины без определенной динамики) (Rebs et al., 2019). В моделях системной динамики визуализируются причинно-следственные связи между объектами модели. Данный подход используется, когда объект достаточно изучить на уровне агрегированных величин. Системная динамика нередко применяется в управлении проектами, так как позволяет учесть довольно разный уровень детализации при моделировании – от общего формирования структуры системы до полного детального описания каждого ее элемента. Таким образом, для разработки типовой модели жизненного цикла наукоемкого проекта наиболее подходящим подходом является системная динамика. С помощью системно-динамического моделирования возможно достичь целей исследования – повысить точность прогноза срока исполнения проекта. Системная динамика позволяет комплексно рассмотреть причинно-следственные связи, которые объективно существуют в исследуемой системе. Кроме того, системно-динамическая модель позволяет наглядно увидеть динамику изменения исследуемых параметров.

3. Материалы и методы

Особенности жизненного цикла высокотехнологичной продукции обуславливают этапы реализации наукоемких проектов, их порядок и срок. Наряду с ростом сложности технических характеристик наукоемкой продукции растет и сложность реализации проектов по разработке и производству такой продукции. Чаще всего модели жизненного цикла проектов представляются в каскадном виде, где процесс разработки выглядит как непрерывный поток, проходящий последовательно по каждой из заранее определенных фаз. Переход на новую фазу происходит только после полного завершения работ на предыдущей фазе.

К преимуществам каскадных моделей жизненного цикла относятся: простота и ясность во время внедрения модели в структуру управления и последовательность выполнения этапов, что позволяет производить более точную оценку сроков проекта (Pimenov et al., 2021; Beketov et al., 2024). Этапы жизненного цикла наукоемких проектов представлены на рис. 1.



Рисунок 1. Этапы жизненного цикла научеомкого проекта

На этапе анализа требований проводится определение технологических характеристик продукта. Также исполнитель устанавливает возможность исполнения проекта с учетом имеющегося ресурсного потенциала и производственных мощностей. Если исполнитель имеет достаточно оснований полагать, что способен выполнить проект – требуется совместно с заказчиком проекта разработать техническое задание (ТЗ) и коммерческое предложение для уточнения и формализации требований. Согласие участников с условиями исполнения проекта фиксируется подписанием договора.

После установления требований и подписания ТЗ исполнитель приступает к научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам (НИОКР). В случае успешного завершения исследований проводятся проектирование, разработка проектной документации и подготовка производства к изготовлению требуемого продукта. Целью проведения испытаний продукта является подтверждение его способности выполнять требования заказчика, а также требования надежности, безопасности и соответствия отечественным и мировым стандартам. На этапе внедрения осуществляются передача продукта заказчику, установка и отладка. Также проводятся промышленные испытания, интеграция продукта с информационными системами предприятия и обучение персонала заказчика по необходимости. Этап сопровождения включает сервисное гарантийное обслуживание, устранение недочетов и поломок. Возможно также внесение изменений после выявления требований, возникших в процессе эксплуатации. Стоит отметить, что может происходить отказ от проектов практически на любом этапе их реализации при возникновении полного или частичного невыполнения требований.

Как рассматривалось выше, многие исследователи применяли метод системной динамики для реализации моделей различных систем и процессов. Поэтому на данный момент научное сообщество уже накопило определенную базу готовых моделей и структур, которые с некоторыми модификациями можно использовать для решения других задач. Требуется подобрать модель, которая наиболее близко будет соответствовать динамике исследуемой системы.

В качестве шаблона для типовой модели жизненного цикла научеомкого проекта предполагается использование модели типа Main Chain, так как с ее помощью достаточно точно проектируются системы, в которых исследуемый объект проходит через некоторую последовательность стадий. Модель состоит из ряда запасов, связанных потоками, и факторов, имеющих на них влияние.

Пример применения шаблона Main Chain для моделирования цепочки поставок представлен на рис. 2. В модели представлен процесс движения продукта по цепочке поставок или превращения сырья в готовую продукцию. Также добавлено описание процесса оформления заказа, производства (которое зависит от текущего уровня запасов и загрузки производственных мощностей) и формирования потребительского спроса (зависит от сезонности, случайной изменчивости). Авторы работы (Monat & Gannon, 2015) приводят и другие примеры использования шаблона Main Chain: управление человеческими ресурсами (повышение квалификации персонала), управление притоком и оттоком пользователей (переход от потенциальных к активным и пассивным), управление административным процессом, производственный процесс, управление проектами (исследование влияния управленческих и кадровых решений на стоимости и сроки проекта), управление очередями и задержками.

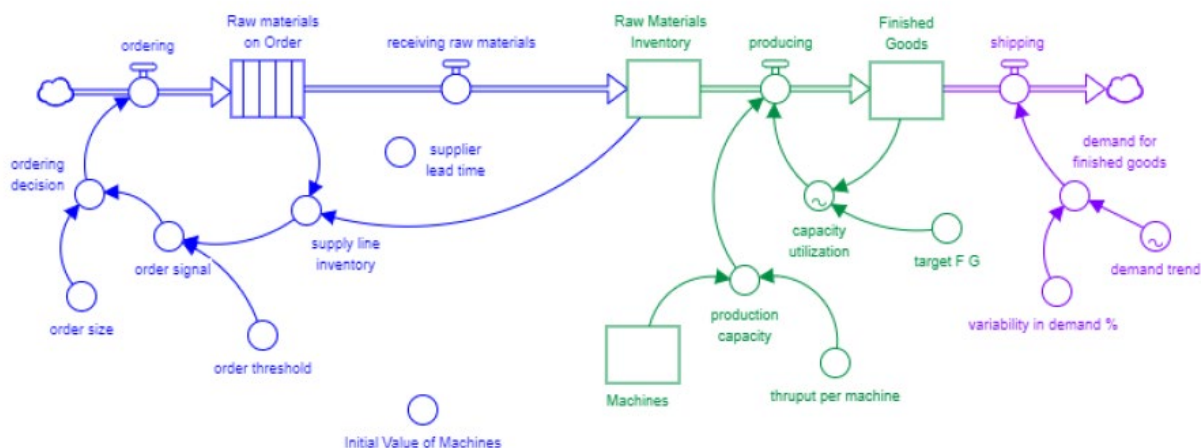


Рисунок 2. Модель цепочки поставок на основе шаблона Main Chain

В моделях, построенных на основе шаблона Main Chain, на вход обычно поступает один поток, а запасы в цепи распределяются пропорционально среднему времени жизни каждого запаса. Среднее время жизни рассчитывается через входной и выходной потоки, зависящие от постоянной времени.

Таким образом, методология построения модели жизненного цикла наукоемкого проекта базируется на принципах системной динамики. Этот подход позволяет описывать поведение сложных управляемых систем во времени с учетом взаимосвязей между элементами и наличия обратных связей. Системная динамика особенно эффективна для моделирования процессов с накоплением ресурсов, временными задержками и регулируемыми потоками. Для реализации модели системной динамики были использованы конструкции четырех типов: запасы, потоки, конвертеры, вспомогательные переменные и связи.

Процесс построения модели начинается с формализации структуры системы, включающей определение ключевых элементов – запасов, потоков, управляющих переменных и внешних воздействий. Затем строится причинно-следственная диаграмма, отображающая взаимодействие между компонентами системы, и на ее основе формируется потоковая диаграмма (stock and flow diagram), где применен шаблон Main Chain,

позволяющий моделировать движение сущностей через последовательные стадии жизненного цикла.

Разработанная модель представляет собой совокупность взаимосвязанных компонентов: запасов, потоков, переменных и вспомогательных зависимостей. Запасы в модели отражают количество проектов на каждом этапе: анализ требований, разработку технического задания и коммерческого предложения, подписание договора, проведение НИОКР, проектирование, производство, испытания, внедрение и сопровождение, а также подготовку и прохождение аудиторских проверок (документарной и выездной). Движение проектов между этапами моделируется с помощью потоков, рассчитанных на основе параметров, определяющих скорость и вероятность перехода: уровень квалификации сотрудников, техническую готовность, лояльность заказчика, наличие наработок, ресурсную обеспеченность и технологический разрыв.

Для отражения неопределенностей, характерных для реальных производственных процессов, в модель внедрены стохастические параметры, задаваемые в виде случайных величин в определенных диапазонах. Это обеспечивает гибкость модели и позволяет имитировать широкий спектр возможных сценариев. Значения переменных (например, сроки выполнения этапов или вероятность возврата проекта на предыдущую стадию) рассчитываются с учетом базовых нормативов и корректируются в зависимости от внутренних и внешних факторов. Кроме того, модель включает механизмы отражения отказов на этапах (например, отклонение ТЗ или прекращение НИОКР) и возвратов (например, возврат на этап проектирования в случае неудовлетворительных результатов испытаний).

Дополнительно введен показатель «расхождение», позволяющий оценить отклонение между плановыми и фактическими сроками реализации проектов. Также моделируется вероятность успешного прохождения аудита, зависящая от таких факторов, как степень соответствия стандартам, наличие сертификатов и уровень технической оснащенности. В результате полученная модель представляет собой целостный инструмент анализа, способный выявлять критические точки и обосновывать направления для совершенствования процесса управления проектами.

4. Результаты

При разработке типовой модели жизненного цикла научеомких проектов в нефтегазовой отрасли в качестве отраслевых особенностей предлагается учет вероятности прохождения аудиторских проверок, участия в системе добровольной сертификации, оценки сложности условий работы оборудования, а также оценки технологического разрыва между параметрами результативности замещаемой (текущей) и замещающей (разработанной) технологии, конструкции.

Разрабатываемая модель содержит два блока сопряженных процессов, связанных общей переменной – комплексным показателем «Вероятность прохождения аудита». В первом, основном, блоке модели содержатся этапы жизненного цикла проектов. Второй, вспомогательный, отображает этапы прохождения аудиторской проверки. Описание каждого из процессов включает переменные, обозначающие внешние или внутренние факторы системы, а также переменные, оказывающие влияние на скорость прохождения этапов.

Ключевой показатель в модели – базовый срок исполнения проектов, определенный на основе статистических данных по срокам завершения проектов исследуемого уровня сложности и экспертных оценок. Срок прохождения каждого их этапов рассчитывается как некоторая часть итогового срока. Соотношение времени исполнения этапов определено на основе статистических и экспертных данных. На реальный срок проведения этапов влияют также и другие факторы, например доступность ресурсов для производства и коэффициент технической готовности для проведения испытаний. Итоговый срок исполнения проекта определяется как сумма реальных сроков проведения всех этапов.

В разрабатываемой модели предусмотрен возврат от этапа испытаний к этапу проектирования и разработки, если были обнаружены недостатки, ошибки и несоответствия с точки зрения качества, надежности и безопасности. Вероятность непрохождения испытаний и необходимости уточнения проектной и рабочей документации определяет процент возврата.

Вторая часть модели описывает процесс прохождения аудиторской проверки и включает этапы подготовки, документарной и выездной проверки. Все пройденные аудиты накапливаются в запасе «Пройденные проверки». Соотношение пройденных и не пройденных проверок определяет вероятность прохождения аудита. В ходе проверок аудиторы рассматривают соответствие используемых материалов, компонентов, оборудования отечественным и мировым стандартам, наличие требуемых сертификатов и техническую оснащенность.

Итоговая потоковая диаграмма жизненного цикла наукоемких проектов на предприятии нефтегазовой отрасли, описывающая функционирование разработанной имитационной модели, представлена на рис. 3.

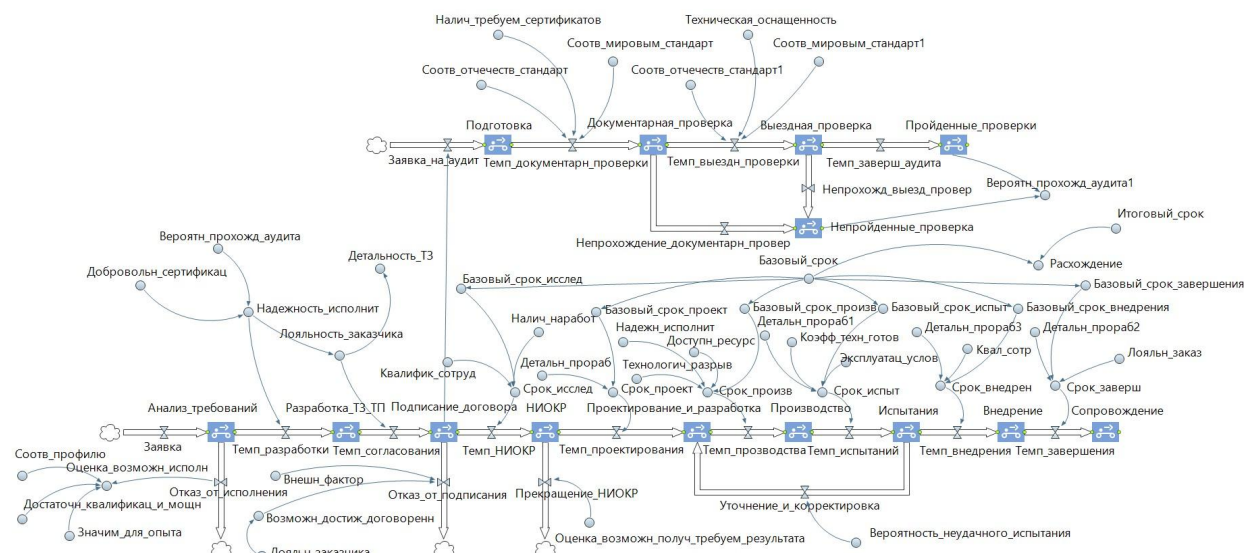


Рисунок 3. Структура потоковой модели жизненного цикла наукоемких проектов на предприятии нефтегазовой отрасли

В процессе разработки потоковой диаграммы жизненного цикла проекта был учтен широкий перечень факторов, оказывающих влияние на срок реализации проекта, среди которых есть параметры, характерные для наукоемких проектов (оценка технологического разрыва) и нефтегазовой отрасли (вероятность прохождения аудита, оценка участия в системе добровольной сертификации и эксплуатационных условий).

В итоговой структуре потоковой модели жизненного цикла научеомких проектов в нижней части модели отражены основные этапы жизненного цикла проекта; вспомогательный блок, находящийся выше, содержит этапы прохождения аудиторской проверки.

Связь между основным и вспомогательным процессами отражена в виде связи потока «Заявка на аудит» и запаса «Подписание договоров», где значение количества проектов на этапе согласования коммерческого предложения и подписания договора передается от запаса «Подписание договоров» к потоку «Заявка на аудит» соответственно.

5. Обсуждение

В данной части статьи предлагается провести обсуждение разработанной модели по части сравнения полученных результатов с предыдущим опытом исследователей в решении проблемы прогнозирования сроков научеомких проектов в нефтегазовой отрасли, ряда модельных ограничений, необходимых доработок и будущего направления развития исследования.

Разработанная модель отличается от существующих решений по ряду ключевых аспектов. Во-первых, в отличие от большинства моделей, ориентированных на прогнозирование сроков реализации инвестиционных проектов с жестко заданными фазами (предынвестиционной, инвестиционной, эксплуатационной и ликвидационной) (Podkorytov, 2021), предложенный подход акцентирует внимание на производственно-аудиторской структуре жизненного цикла, характерной для научеомких проектов, выполняемых в высокорегулируемых отраслях, таких как нефтегазовая. Это позволяет не только оценивать длительность реализации проекта, но и выявлять критические участки, связанные с техническими сложностями, задержками документации и прохождением экспертиз.

Во-вторых, модель учитывает влияние организационно-технических параметров, таких как уровень квалификации персонала, наличие наработок, коэффициент технической готовности и пр., которые редко включаются в типовые стохастические или регрессионные модели оценки сроков. В этом заключается значительное методологическое расширение существующих подходов, где зачастую используется абстрактная параметризация этапов без привязки к конкретной внутренней логике технологического процесса.

Кроме того, в отличие от ряда моделей, ограничивающихся линейной или упрощенной логикой переходов между этапами, в данной работе внедрены элементы возвратов и вероятностных отказов, что делает поведение модели ближе к реальным сценариям (Goncharova & Gorlacheva, 2021). Несмотря на существующие ограничения (например, отсутствие возврата на производственные этапы или устранения замечаний по итогам аудита), уже в текущем виде модель способна не только симулировать вероятностное распределение сроков, но и идентифицировать риски, связанные с пробелами в организации проектного цикла.

С научной точки зрения вклад данного исследования заключается в разработке и формализации динамической модели, ориентированной на специфику научеомких проектов в условиях регламентированного производственного и сертификационного контроля. Работа дополняет существующие научные подходы в области управления инновационными проектами, предлагая интеграцию системной динамики с отраслевой

спецификой, что может быть использовано как в академических исследованиях, так и в практической деятельности при планировании и управлении подобными проектами.

Таким образом, данное исследование вносит вклад в развитие инструментов оценки сроков и рисков в сложных наукоемких проектах, предлагая новую методологическую основу, адаптированную под нужды высокотехнологичных отраслей с обязательной системой контроля качества и аудита. В перспективе возможна адаптация модели для поддержки принятия решений и оптимизации процессов в рамках цифровой трансформации предприятий нефтегазовой отрасли и других сходных сфер.

Так, в отличие от приведенной в настоящей статье последовательности этапов жизненного цикла наукоемких проектов в нефтегазовой отрасли, также зачастую присутствует деление этапов проекта на следующие фазы: предынвестиционную, инвестиционную, эксплуатационную и ликвидационную (Cherushkanov, 2018). Такое деление характерно в том случае, когда наукоемкие проекты рассматриваются в качестве инвестиционных. Классификация может быть использована в целях анализа потенциальных рисков и определения уровня рисков инвестиционных проекта для промышленного предприятия (Avkopashvili, 2020).

В данном исследовании анализ инвестиционных рисков не входил в задачи исследования, так как в первую очередь рассматривалась последовательность выполнения этапов наукоемкого проекта для оценки общих сроков его реализации. Тем не менее прогнозирование возникновения инвестиционных рисков наукоемких проектов в нефтегазовой отрасли и их оценка могут стать перспективным направлением развития данного исследования.

В ограничения исследования входит отсутствие реализации в модели возможности устранения замечаний в процессе аудиторской проверки. Так, в рамках текущей конфигурации модели принимается допущение, что успешное завершение возможно только при положительном результате на каждом этапе проверки с первого раза.

В модели не предусмотрен также и отток проектов на этапах проектирования и разработки, производства, испытаний и внедрения. Кроме того, не предусмотрена возможность возврата к предыдущим этапам на всем ходе исполнения (кроме возвращения от испытаний к проектированию). В частности, не реализован возврат от испытаний к производству, так как в качестве допущения принято, что на этапе производства не может быть ошибок. Такое допущение объясняется прохождением аудита и использованием участия в системе добровольной сертификации.

Также не рассматриваются случаи, когда результат НИОКР не реализуем силами исполнителя. В модели принято, что для 10–20% заявок на аудит проверка завершается неудачно, хотя в действительности процент успешных заявок определяется исходя из статистических исследований применительно к конкретному предприятию.

Таким образом, для расширения модели в дальнейшем возможны более детальное рассмотрение внешних и внутренних факторов, оказывающих влияние на проект, и более точная оценка уже используемых параметров модели. Кроме того, допускается уточнение модели в части движения проектов, в добавлении потоков переделок или отказов.

6. Заключение

В данной статье рассматривается проблема несовершенства существующих моделей жизненного цикла для решения задачи прогнозирования срока научеомких проектов в нефтегазовой отрасли. В ходе работы были рассмотрены возможные инструменты разработки моделей жизненного цикла научеомких проектов, в частности подходы имитационного моделирования. В качестве подхода к моделированию жизненного цикла научеомкого проекта была выбрана системная динамика, так как данный подход позволяет разработать концептуальную потоковую диаграмму процессов, отразить причинно-следственные связи между ними и, определив структуру, взаимосвязи и формализованное выражение переменных процессов, оценить динамику изменения исследуемых параметров.

Основным результатом исследования является системно-динамическая модель жизненного цикла научеомкого проекта в нефтегазовой отрасли. При разработке модели были выделены основные процессы, соответствующие жизненному циклу научеомких проектов на нефтегазовом предприятии от процесса анализа требований проекта до его внедрения и сопровождения, учитывая ряд выявленных отраслевых особенностей. В качестве вспомогательных процессов в модели отражаются этапы прохождения аудиторской проверки.

Таким образом, разработанная имитационная модель позволяет оценить срок исполнения проекта в зависимости от установленных значений влияющих параметров на исследуемом предприятии нефтегазовой отрасли и на основе модельных результатов принять соответствующие управленческие решения в сфере проектного менеджмента рассматриваемого предприятия. Перспективами исследования являются ввод в модель учета возникновения инвестиционных рисков при реализации научеомких проектов в нефтегазовой отрасли, а также возможность количественной оценки их возникновения.

7. Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (государственное задание № 075-03-2025-256 от 16.01.2025).

Список литературы

- Ettema, D., de Jong, K., Timmermans, H., Bakema, A., 2007. Puma: Multi-Agent Modelling of Urban Systems, in: *Modelling Land-Use Change*. Springer, Dordrecht, pp. 237–258. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5648-2_14
- Ilin, I., Levaniuk, D., Dubgorn, A., 2021. Assessment of digital maturity of enterprises, in: *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019*. Springer, Cham, pp. 167–177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_14
- López-Robles, J.R., Otegi-Olaso, J.R., Gómez, I.P., Cobo, M.J., 2019. 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review. *International Journal of Information Management* 48, 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.013>
- Monat, J.P., Gannon, T.F., 2015. What is Systems Thinking? A Review of Selected Literature Plus Recommendations. *American Journal of Systems Science* 4 (1) 11–26. <https://doi.org/10.5923/j.ajss.20150401.02>
- Rebs, T., Brandenburg, M., Seuring, S., 2019. System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production* 208, 1265–1280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.100>
- Tsigliani, P., Romasheva, N., Nenko, A., 2023. Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation. *Resources* 12 (6), 64. <https://doi.org/10.3390/resources12060064>
- Абдулкадыров А.С., Минатуллаев А.А., Самохвалова Е.П. Современные тенденции развития и особенности управления проектами в нефтеперерабатывающей отрасли // *Индустриальная экономика*. 2021. 5–6. С. 523–529. https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_5_6_523
- Авкопашвили П. Т. Современные подходы к оценке эффективности инвестиционных проектов на промышленных предприятиях, выпускающих научеомкую продукцию // *Инновационный дискурс развития современной науки и образования*. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2020. С. 114–118.
- Аль-Хазали А. Ф. М., Кельчевская Н. Р. Разработка подхода к оценке зрелости системы управления рисками в нефтегазовом секторе // *Весенние дни науки: Сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых*. Екатеринбург: УрФУ, 2022. С. 310–316.

- Бекетов С.М., Поспелов К.Н., Редько С.Г. Имитационная модель человеческого капитала в инновационных проектах // Проблемы управления. 2024. № 3. С. 16–25. <https://doi.org/10.25728/cs.2024.3.2>
- Белицкая О.В. Традиционный подход к оценке финансовой устойчивости организаций: проблемы применения // Естественно-гуманитарные исследования. 2020. № 2 (28). С. 53–59. <https://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10075>
- Болсуновская М.В., Гинцяк А.М., Федяевская Д.Э., Петряева А.А., Бурлуцкая Ж.В. Комплексное моделирование процессов нефтедобычи: аналитический обзор // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2023. № 2 (595). С. 51–62. [https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-2\(595\)-51-62](https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-2(595)-51-62)
- Быстров В.В., Маслобоев А.В. Технология информационной поддержки жизненного цикла управления мероприятиями по противодействию угрозам социально-экономической безопасности // Надежность и качество сложных систем. 2018. № 4 (24). С. 150–164. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2018-4-17>
- Вальдман Н.А., Маляренко Н.Л. Методические подходы к принятию решений по обеспечению безопасности шельфовых нефтегазовых объектов // Труды Крыловского государственного научного центра. 2020. № 1 (391). С. 207–216. <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-199-208>
- Гончарова Н.П., Горлачева Е.Н. Анализ моделей оценки инновационных научно-технических проектов // Инновации в менеджменте. 2021. № 2 (28). С. 20–25.
- Горелова Г.В., Мандель М.В. Имитационное моделирование как инструмент исследования регионального рынка труда // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. 2012. № 4 (111). С. 230–240.
- Даденков С.А., Кон Е.Л. Анализ моделей и методов агентного и дискретно-событийного имитационного моделирования // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 5. С. 35–41.
- Зыкова Н.В., Агауров С.Ю. Проблемы реализации крупных проектов в нефтегазовой отрасли // Общество: политика, экономика, право. 2023. № 8 (121). С. 121–128. <https://doi.org/10.24158/per.2023.8.15>
- Макунина Я.С., Никончук А.В. Моделирование систем массового обслуживания с помощью программного продукта anylogic // Инновации в химико-лесном комплексе: тенденции и перспективы развития. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, 2022. С. 124–127.
- Масликова Т.Е., Редько С.Г. Применение подходов имитационного моделирования для оценки эффективности логистических процессов // Глобальная энергия. 2013. № 4–2 (183). С. 6–102.
- Пименов А.А., Колесников Л.А., Панов А.В. Анализ моделей жизненного цикла для кроссплатформенной разработки корпоративного информационного портала // ИТ-Стандарт. 2021. № 1. С. 23–28.
- Подкорытов В.Н. Анализ жизненных циклов инвестиционных проектов и пути решения проблем оценки эффективности проектов с длительными сроками жизни // Актуальные проблемы экономики и управления. Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2021. С. 48–52.
- Филимонова В.Р., Шушков А.В., Змиенко Д.С., Рабаев М.У., Кузьмин Г.С., Брусенцев О.Б. Постинвестиционный мониторинг технологических проектов в нефтегазовой отрасли: выбор подхода на примере опыта Блока разведки и добычи «Газпром нефть» // ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2020. № 2. С. 73–80. <https://doi.org/10.7868/S2587739920020111>
- Чепушканов И.А. Особенность жизненного цикла инвестиционного проекта в различных отраслях // Академическая публицистика. 2018. № 4. С. 78–83.
- Шабанова Д.Н., Александрова А.В. Интегрированное управление рисками как фактор повышения конкурентоспособности предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2016. № 2 (35). С. 60–70. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2016.2.7>

References

- Abdulkadyrov, A.S., Minatullaev, A.A., Samokhvalova, E.P., 2021. Modern development trends and features of project management in the oil refining industry. *Industrial economy* 5–6, 523–529. https://doi.org/10.47576/2712-7559_2021_5_6_523
- Al-Hazaali, A.F.M., Kelchevskaya, N.R., 2022. Development of an approach to assessing the maturity of the risk management system in the oil and gas sector, in: *Vesennie dni nauki: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoj konferencii studentov i molodyh uchenykh* [Spring Science Days: Collection of Papers from the International Conference of Students and Young Scientists]. Ural Federal University, Ekaterinburg, 2022, pp. 310–316.
- Avkopashvili, P.T., 2020. Modern approaches to evaluating the efficiency of investment projects at industrial enterprises producing scientific products, in: *Innovacionnyj diskurs razvitiya sovremennoj nauki i obrazovaniya* [Innovative discourse of development of modern science and education]. International Center for Scientific Partnership “New Science”, Petrozavodsk, pp. 114–118.
- Beketov, S.M., Pospelov, K.N., Redko, S.G., 2024. A Human Capital Simulation Model in Innovation Projects. *Control Sciences* 3, 16–25. <https://doi.org/10.25728/cs.2024.3.2>
- Belitskaya, O.V., 2020. Traditional approach to assessing the financial sustainability of organizations: application problems. *Natural-Humanitarian Research* 2 (28), 53–59. <https://doi.org/10.24411/2309-4788-2020-10075>
- Bolsunovskaya, M.V., Gintciak, A.M., Fedyaevskaya, D.E., Petryaeva, A.A., Burlutskaya, Zh.V., 2023. Complex modeling of the oil production processes: analytical review. *Automation and informatization of the fuel and energy complex* 2 (595), 51–62. [https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-2\(595\)-51-62](https://doi.org/10.33285/2782-604X-2023-2(595)-51-62)
- Bystrov, V.V., Masloboev, A.V., 2018. Project management life-cycle information support technology of threat resistance in the field of socio-economic security. *Reliability and quality of complex systems* 4 (24), 150–164. <https://doi.org/10.21685/2307-4205-2018-4-17>
- Chepushkanov, I.A., 2018. Osobennost' zhiznennogo cikla investitsionnogo proekta v razlichnykh otraslyah [Features of the life cycle of an investment project in various industries]. *Academic journalism* 4, 78–83.
- Dadenkov, S.A., Kon, E.L., 2015. Comparison of agent-based and discrete-event simulation models and methods. *Proceedings of Saint Petersburg Electrotechnical University* 5, 35–41.
- Ettema, D., de Jong, K., Timmermans, H., Bakema, A., 2007. Puma: Multi-Agent Modelling of Urban Systems, in: *Modelling Land-Use Change*. Springer, Dordrecht, pp. 237–258. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5648-2_14

- Filimonova, V.R., Shushkov, A.V., Zmienko, D.S., Rabaev, M.U., Kuzmin, G.S., Brusentsev, O.B., 2020. Post-investment review of technological projects in oil and gas: Gazprom Neft Upstream approach. *PROneft. Professionally about Oil* 2, 73–80. <https://doi.org/10.7868/S2587739920020111>
- Goncharova, N.P., Gorlacheva, E.N., 2021. The analysis of evaluation models of innovative scientific and technical projects. *Innovacii v menedzhmente [Innovations in Management]* 2 (28) 20–25.
- Gorelova, G.V., Mandel, M.V., 2012. Simulation modeling as a tool for the study of regional labor market. *The Bulletin of the Adyghe State University. Series 5: Economy* 4 (111), 230–240.
- Ilin, I., Levaniuk, D., Dubgorn, A., 2021. Assessment of digital maturity of enterprises, in: *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019*. Springer, Cham, pp. 167–177. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_14
- López-Robles, J.R., Otegi-Olaso, J.R., Gómez, I.P., Cobo, M.J., 2019. 30 years of intelligence models in management and business: A bibliometric review. *International Journal of Information Management* 48, 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.013>
- Makunina, Y.S., Nikonchuk, A.V., 2022. Simulation of mass service systems with the help of anylogic software product, in: *Innovations in the chemical-forestry complex: trends and development prospects*, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, pp. 124–127.
- Maslikova, T.E., Redko, S.G., 2013. Use of simulation approaches to evaluate the effectiveness of logistic processes. *Global Energy* 4–2 (183), 96–102.
- Monat, J.P., Gannon, T.F., 2015. What is Systems Thinking? A Review of Selected Literature Plus Recommendations. *American Journal of Systems Science* 4 (1) 11–26. <https://doi.org/10.5923/j.ajss.20150401.02>
- Pimenov, A.A., Kolesnikov, L.A., Panov, A.V., 2021. Analysis of life cycle models for cross-platform development of corporate information portal. *IT-Standard* 1, 23–28.
- Podkorytov, V.N., 2021. Analysis of the life cycles of investment projects and ways to solve the problems of estimating the performance of projects with long life times, in: *Aktual'nye problemy ekonomiki i upravleniya [Current issues in economics and management]*. Ural State Mining University, Ekaterinburg, pp. 48–52.
- Rebs, T., Brandenburg, M., Seuring, S., 2019. System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal of Cleaner Production* 208, 1265–1280. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.100>
- Shabanova, D.N., Aleksandrova, A.V., 2016. Integrated risk management as a factor of competitiveness increase of oil and gas industry. *Science Journal of Volgograd State University. Global Economic System* 2 (35), 60–70. <http://dx.doi.org/10.15688/jvolsu3.2016.2.7>
- Tsiglianu, P., Romasheva, N., Nenko, A., 2023. Conceptual Management Framework for Oil and Gas Engineering Project Implementation. *Resources* 12 (6), 64. <https://doi.org/10.3390/resources12060064>
- Valdman, N.A., Malyarenko, N.L., 2020. Methodical approaches to decision making about safety of offshore oil & gas facilities. *Transactions of the Krylov State Research Centre* 1(391), 199–208. (In Russ.). <https://doi.org/10.24937/2542-2324-2020-1-391-199-208>
- Zykova, N.V., Agaurov, S.Yu., 2023. Problems of Implementing Major Projects in the Oil and Gas Industry. *Society: Politics, Economics, Law* 8 (121), 121–128. <https://doi.org/10.24158/pep.2023.8.15>

Статья поступила в редакцию 15.01.2025, одобрена после рецензирования 25.01.2025, принята к публикации 09.02.2025.

The article was submitted 15.01.2025, approved after reviewing 25.01.2025, accepted for publication 09.02.2025.

About the authors:

1. Arina Abramova, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0004-2775-1063>, a9313118506@mail.ru
2. Aleksei Gintciak, Ph.D in technology, head of Laboratory of Digital modeling of Industrial systems, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, aleksei.gintciak@spbpu.com
3. Sergey Redko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Graduate School of Project Activity and Innovation in Industry, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0000-0002-4343-4154>, redko_sg@spbstu.ru
4. Karina Lundaeva, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russian Federation. <https://orcid.org/0009-0002-4995-3059>, karina.lundaeva@spbpu.com

Информация об авторах:

1. Арина Абрамова, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0004-2775-1063>, a9313118506@mail.ru
2. Алексей Гинцяк, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Цифровое моделирование промышленных систем», Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-9703-5079>, aleksei.gintciak@spbpu.com
3. Сергей Редько, доктор технических наук, профессор, директор Высшей школы проектной деятельности и инноваций в промышленности, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0000-0002-4343-4154>, redko_sg@spbstu.ru

4. Карина Лундаева, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация. <https://orcid.org/0009-0002-4995-3059>, karina.lundaeva@spbpu.com