

Алгоритм формирования стратегии управления рисками в строительных проектах

Сидоренко Никита Александрович, Яркова Ольга Николаевна

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Россия, Санкт-Петербург, *nikitasidorenko1998@gmail.com*

Аннотация. Статья посвящена разработке математического инструментария, позволяющего обосновать выбор стратегических решений по управлению рисками при реализации плана строительства объекта в установленные сроки. Процесс управления рисками в строительной сфере требует от строительных компаний адаптации к современным реалиям и внедрения современных систем риск-менеджмента для успешной реализации строительных проектов. Одним из важнейших показателей эффективности реализации проекта является соответствие срока реализации проекта строительству плановым значениям. Важно правильно оценить сроки строительства с учетом рисков, влияющих на реализацию проекта. Цель работы заключается в разработке инструментария, позволяющего моделировать продолжительность реализации проекта строительства в условиях рисков. В работе проведен анализ существующих подходов к управлению рисками в строительных проектах; предложена методика формирования стратегии управления рисками, апробированная на примере строительства типового жилого железобетонного здания. Для рассматриваемого проекта выявлены ключевые риски, влияющие на продолжительность строительства. Показан пример формирования матрицы управляемых параметров. Описан способ построения матрицы игры на основе сетевого графика плана строительства для заданных стратегий игрока и природы: проведено моделирование продолжительности работ по методу Монте-Карло – получено вероятностное распределение времени выполнения работ проекта; показана возможность снижения вычислительной сложности алгоритма за счет аппроксимации ряда значений матрицы игры по методу наименьших квадратов; матрица игры построена, для примера, на основе характеристики вероятностного распределения «срок строительства с заданной вероятностью (надежностью)», определена стратегия принятия решений по принципу Лапласа. Применение разработанного инструментария для оценки рисков невыполнения проекта в установленные сроки позволит эффективно управлять рисками в строительных проектах. Предложенный подход может иметь высокую практическую значимость при реализации строительных проектов и возможность интеграции в систему управления рисками на различных этапах жизненного цикла строительных проектов.

Ключевые слова: управление рисками, статистическое моделирование, теория игр, риск-ориентированный подход, строительные проекты

Цитирование: Сидоренко Н.А. Алгоритм формирования стратегии управления рисками в строительных проектах/ Н.А. Сидоренко, О.Н. Яркова // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2026. – № 1(41). – С. 150-163 – DOI:10.25729/ESI.2026.41.1.011.

Введение. В настоящее время, ввиду глобализации, внутренняя и внешняя среда способствуют появлению спектра различных рисков, влияющих на жизненный цикл строительного проекта. Разнообразие и масштаб этих рисков требуют их детального анализа. Согласно данным Федеральной Службы государственной статистики (по состоянию на 2-й квартал 2024 г.), одними из наиболее существенных факторов, ограничивающих производственную деятельность строительных предприятий стали: высокая стоимость материалов, конструкций и изделий, высокий уровень налогов и недостаток квалифицированных кадров [1]. Для снижения рисков в сфере реализации строительных проектов необходимо внедрение системного риск-ориентированного подхода [2, 3], предусматривающего качественный и количественный анализ рисков, разработку стратегий управления рисками, принятие соответствующих управленческих решений. Таким образом, процесс управления рисками в строительной сфере требует от строительных компаний адаптации к современным реалиям и внедрения современных систем риск-менеджмента для успешной реализации строительных проектов.

Авторы работ [2, 4] отмечают, что для успешного управления рисками строительных проектов необходимо применять новые подходы, например, использовать методы теории игр и имитационного моделирования, позволяющие разрабатывать оптимальные стратегии для управления рисковыми ситуациями. Использование теории игр позволяет моделировать различные сценарии взаимодействия лица, принимающего решения (ЛПР), с внешними факторами, а также позволяет детально анализировать риск, оценивать влияние рисков на строительный проект и обосновывать выбор стратегий минимизации угроз. В сочетании с имитационным моделированием этот подход позволяет создавать адаптивные модели для выбора стратегий управления, с учетом различных сценариев реализации рисков. Разработка таких методов требует анализа существующих актуальных исследований и разработок в анализируемой области.

В статье Тогузова И.З., Антонова Е.И., Гульчеева Д.А [5] рассматривается комплексный подход по управлению рисками, связанными с финансовой деятельностью компании. В работе авторы отмечают, что компаниям необходимо не только выявлять рисковые события, но и предугадывать скрытые в них возможности, переходить от децентрализованного к централизованному, интегрированному риск-менеджменту с формированием профильного органа по управлению рисками в компаниях.

В работе Забелина А.А. [6] рассматривается управление инвестиционными рисками методом хеджирования путем открытия встречного финансового потока при помощи фьючерсов. В статье Я.А. Вавилина [7] рассматривается применение теории игр для обоснования выбора методов риск-ориентированного подхода. В статье Д.Г. Петриченко, Г.С. Петриченко [8] применяют теорию игр для выбора наиболее выгодной рекламной стратегии при выведении на рынок нового объекта недвижимости. Ахвердиева С.Г и др. [9] описывают основные экономические риски и их влияние на эффективность нефтегазовых проектов. В.А. Панюшкин [10] применяет теорию игр для многокритериального анализа строительства автомобильных дорог. А.В. Капусто, С.Н. Костюкова [11] в своей работе рассматривают планирование финансовой деятельности строительной компании, при принятии решения по участию в торгах, и планировании ее деятельности в условиях неопределённости методами теории игр. В своей работе Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцев И.С., Зайцева И.А [12] отмечают, что использование имитационного моделирования позволяет оценить эффективность строительства, а также проанализировать неблагоприятные ситуации, которые могут возникнуть на разных этапах строительства. Тараненко С.Н. В говорит о том, что использование математического моделирования повышает эффективность и надежность оценки рисков [13]. Ковалева Е.А. в своей работе использует имитационное моделирование для планирования сельско-хозяйственного производства с учётом климатических рисков [14]. Отметим широкое применение теории игр и имитационного моделирования в различных отраслях, при этом недостаточно внимания в научных публикациях уделяется моделированию рисков в строительной сфере, обладающей рядом специфических черт: сложные комплексы работ, продолжительные сроки реализации проектов, отсроченная доходность вложений и т.п.

Таким образом, для анализа и выработки стратегий управления рисками строительных проектов необходимо применять риск-ориентированный подход с использованием методов теории игр и имитационного (статистического) моделирования, а также современные программные инструменты.

1. Цель и задачи исследования. Цель работы заключается в разработке математических инструментов, которые позволяют эффективно моделировать продолжительность строительства объектов в условиях рисков. Задачи исследования: выявить ключевые риски, влияющие на строительные проекты; разработать модель, описывающую план реализации

строительства объекта с учетом рискованных ситуаций; разработать алгоритм формирования стратегий принятия решений; провести апробацию алгоритма на примере выявленных видов риска.

2. Модели и методы исследования. В качестве основных методов были использованы: PERT, методы имитационного моделирования Монте-Карло, теории игр, экспертных оценок, вероятностно-статистические методы, методы аппроксимации.

Алгоритм формирования стратегии управления рисками:

1. Построить модель жизненного цикла проекта строительства (или конкретного этапа, например, строительства объекта) в виде сетевого графика. Исследовать свойства, критический путь.

2. Выявить рискованные события. Пусть выявлено N видов рисков. Выполнить оценку влияния рискованных событий на выполняемые работы. Разработать локальные стратегии управления K_i по каждому виду риска $i = 1, N$. Выполнить анализ рискованных ситуаций по каждому виду риска i – т.е. его реализацию в проекте в зависимости от состояний среды. Пусть R_i – рассматриваемые состояния среды по виду риска i . Провести анализ влияния i -го вида риска на продолжительность строительства.

Для параметров (K_l, R_m) $l=1,2..k_i$; $m=1,2..r_i$ (здесь k_i – количество стратегий ЛПР по i -му виду риска, r_i – количество состояний природы по i -му виду риска) построить таблицу оценок: продолжительности увеличения срока работ $X^{(l,m)}$ при реализации риска и вероятностей реализации соответствующего вида риска $q^{(l,m)}$.

3. Составить матрицу игры на основе стратегий игроков. У ЛПР $\prod_{i=k}^N k_i$ стратегий, каждая стратегия включает все комбинации управления по каждому виду риска. У природы $\prod_{i=k}^N r_i$ стратегий, где каждая стратегия природы – все комбинации состояний природы по каждому виду риска. Элементами платежной матрицы (и соответственно целевыми критериями) могут выступать вероятностные характеристики закона распределения времени выполнения проекта, оцененные по методу Монте-Карло на основе сетевого графика с учетом реализуемых стратегий ЛПР и природы, например: ожидаемый срок строительства, вероятность закончить проект в заданный срок, время выполнения проекта с заданной надежностью, и т.п.

Выбрать ключевые элементы платежных матриц для проведения расчётов. Расчет ключевых элементов платежных матриц (по выбранным критериям) осуществляется по методу Монте-Карло на основе сетевого графика работ с учетом возможных комбинаций рисков, вероятностей их наступления и последствий их реализации.

Аппроксимировать остальные элементы платежной матрицы по ключевым рассчитанным значениям с использованием метода наименьших квадратов.

4. Определить оптимальную стратегию по выбранному целевому критерию и критерию принятия решений, например, Лапласа, Гурвица и др.

3. Апробация и результаты. За основу исследования был взят календарный график строительства типового жилого железобетонного здания. Длина критического пути составила 679 дней.

Сформируем стратегии лица, принимающего решения, как основу для дальнейшей работы с назначением метода управления [15] и соответствующих мероприятий, снижающих рискованную ситуацию.

Рассмотрим возможные способы управления рисками: $C1$ – «снижение риска», предусматривает снижение вероятности и/или степени влияния риска – например, снижение вероятности возникновения риска на 20%-30% и/или степени негативного влияния на 20%-30% (может варьироваться в зависимости от вида риска и возможности снизить его); $C2$ – «существенное снижение риска», предусматривает существенное снижение вероятности

и/или степени влияния риска – например, снижение вероятности на 60%-80% и/или степени влияния на 60%-80% (может так же варьироваться в зависимости от вида риска). Стратегия «принятие риска» в настоящей работе не рассматривается ввиду того, что она является доминируемой по отношению к рассматриваемым критериям эффективности стратегии управления рисков, в частности, по показателям продолжительности проекта.

Методику формирования стратегии принятия решений продемонстрируем на примере десяти выявленных видов рисков, приведенных в таблице 1 и обозначенных N1, N2, ...N10.

Таблица 1. Виды риска, стратегии управления рисками

Вид риска	Информационная сводка	Мероприятия по снижению риска
Сверх инфляция (N1)	Отраслевая инфляция в 2023г составила 6,9-7,1%. Отраслевая инфляция в 2022-м (более 13%). Потребительская инфляция за 2023г. составила 7,4% [16]. Основные последствия инфляции для строительной компании [17]: 1.Снижение себестоимости выпускаемой продукции. 2. Занижение стоимости имущества организации и расходов. 3. Искажение финансовых коэффициентов. 4. Усложнения принятия управленческого решения.	Методы управления C1, мероприятия: – избегать больших объемов дебиторской задолженности; – увеличить кредитные займы под выгодный процент (как правило до повышения ключевой ставки) для оплаты займа обесценившимися деньгами; – заблаговременно закупить товары и материалы; – сформировать резерв материалов по до инфляционным ценам; – своевременно повышать цены на продукт выпускаемой компанией.
		Методы управления C2, мероприятия: – выполнять переоценку активов; – применять методы по начислению амортизации по основным активам.
Нехватка ИТР и специалистов узкого профиля (N2)	7 мая 2024г. вышел указ «Указ о национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036» согласно которому необходимо обеспечить граждан жильем общей площадью не менее 33 кв. метров на человека к 2030 году и не менее 38 кв. метров к 2036 году [18]. По данным Минстроя России, в среднем каждый год профильные высшие и средние специальные учебные заведения страны выпускают около 30 тыс. специалистов, средние заведения - порядка 45 тыс. Но чтобы добиться намеченного ежегодного ввода «квадратов» нового жилья, эту численность выпускников, согласно подсчетам министерства, надо удвоить [19]. Также стоит отметить, что почти половина выпускников вузов не идет работать по специальности после окончания учебных заведений, а опыт специалистов из стран СНГ оставляет желать лучшего.	Методы управления C1, мероприятия: – формирование HR отдела, для отбора кандидатов на должности, проведения собеседований; – разработка системы отбора путем выполнения тестового задания или заданий; – собеседование с непосредственным начальством; – организация периодических курсов повышения квалификации сотрудников.
		Методы управления C2, мероприятия: – разработка совместно с вузами целевых программ для студентов; – ведение практики наставничества в компании; – привлечение иностранных специалистов; – популяризация строительной сферы.

Продолжение таблицы 1.

Вид риска	Информационная сводка	Метод управления и мероприятия по снижению риска
Риски роста тарифов на грузовые перевозки (N3)	Нехватка сотрудников, удорожание сервисного обслуживания ввиду недостатка необходимых деталей, спекулятивный рост на тяжеловесные тягачи ввиду их дефицита на рынке, инфляция, высокая стоимость горюче-смазочных материалов, изменение логистических маршрутов (на данный момент более востребованными стали маршруты в Азию и ближний восток, что увеличивает расстояние грузоперевозок)	<p>Методы управления С1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – бережное отношение к машинам; – своевременный уход за машинами; – продление ресурса эксплуатации узлов и агрегатов, которые не влияют на безопасность дорожного движения [20].
		<p>Методы управления С2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – популяризировать профессию водителя среди молодой части населения; – создавать достойные условия для работы сотрудников.
Неточность, ошибки в ПСД (N6)	<p>Согласно Главгосэкспертизе (ГГЭ) за 2021 год доля отрицательных заключений составила 12% (из 4211 заключений), из них наиболее частые замечания это: отсутствие необходимой исходно-разрешительной документации или несоответствие одних документов другим, в частности, проектных решений, исходно-разрешительной документации; низкая проработка предпроектной стадии, выражающаяся в допущенных ошибках в исходных данных; частичное отсутствие утвержденных в установленном порядке документов землепользования, градостроительных планов, проектов планировки и межевания территории; отсутствие обоснованных технических условий на подключение инженерных коммуникаций: довольно часто требуется актуализация технических условий ввиду истечения срока их действия; принятие проектных решений по недействующим на момент проектирования строительным нормам, стандартам и проектной документации (сериям и типовым проектам); технические ошибки в расчетах, несущих конструкции и проектных решениях, которые могут привести к аварийным ситуациям.</p>	<p>Методы управления С1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ответственный подход к выбору компании предоставляющей услуги по разработке ПСД, учитывая ее опыт, отзывы и компетентность; – разработка корректного ТЗ для проектной компании и объективная оценка сроков выполнения работ по проектированию.
	<p>Среди факторов, влияющих на качество проектной документации, ГГЭ выделяет: подготовка проектной документации осуществляется организациями с малым опытом проектирования, не специализирующимися в конкретной отрасли, не имеющими в своем штате квалифицированных специалистов; привлечение непрофильных проектных организаций для разработки документации объектов строительства, имеющих определенную специфику; изменение требований заказчика к проектируемому объекту в процессе проектирования и экспертизы, которые влекут большой объем переработки принятых проектных решений [23]. Ошибки в ПСД могут привести к увеличению бюджета, сроков проекта строительства, разрушению объекта и гибели людей.</p>	<p>Методы управления С2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – введение BIM; – ввод в штат проектировщиков и оценка качества проекта до заключения договора подряда.

Продолжение таблицы 1.

Вид риска	Информационная сводка	Метод управления и мероприятия по снижению риска
Отсутствие материалов на рынке или их высокая стоимость (N4)	Отсутствие материалов или их высокая цена может повлиять на стоимость и (или) график строительного проект, а также качество выполняемых работ, ввиду того, что застройщики будут вынуждены использовать аналоги материалов или менее качественные строительные материалы	<p>Методы управления C1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – периодический контроль рынка материалов, поиск материалов аналогов для оперативной замены их во время производства работ; – формирование резерва материалов; – иметь нескольких поставщиков для основных строительных материалов.
		<p>Методы управления C2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – покупка материалов через параллельный импорт; – подписание договоров с дилерами строительных материалов по продаже материалов по фиксированной цене.
Неграмотное управление проектом строительства (N5)	Основные причины неграмотного управления проектом строительства: несогласованность действий руководящего звена между собой и подчиненными; неверное принятие решения ввиду недостаточности информации и непонимания картины проекта строительства в целом; некомпетентность руководящего состава.	<p>Методы управления C1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – привлечение стороннего независимого руководящего состава (Фи-девелопера) для управления проектом [21]; – формирование реестра ответственности (прописать задачи, назначить ответственных за их выполнение, прописать критерии достижения целей по задачам).
		<p>Методы управления C2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – введение инструментария для управления проектами (например, софт на базе 1С «Бит.Строительство» [22]).
Нарушение техники безопасности, производственные травмы (N7)	<p>По данным Роструда и Федерации независимых профсоюзов России, в 2022 году произошло 5563 несчастных случая на производстве, в том числе 381 групповых случаев, 3913 – с тяжелым исходом, 1269 – с летальным исходом. За последние пять лет количество таких происшествий снизилось на 9%.</p> <p>За пять лет число пострадавших снизилось на 16%, за 10 лет – вдвое, за 20 лет – в 6,3 раза. Количество случаев со смертельным исходом уменьшилось с 4,4 тысячи человек в 2000 году до 1,07 тысячи в 2022. Однако в процентном соотношении летальные исходы регистрируют чаще: в 2022 году – 5,3% от общего количества пострадавших, в то время как в 2000 – 2,9% [24].</p>	<p>Методы управления C1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проведение планового, внепланового, первичного, вводного инструктажей по охране труда; – проведение обучения по ОТ, ТБ и ПБ; – ввод системы штрафов за нарушения ТБ; – формирование отдела по ОТ и ТБ с непосредственным контролем соблюдения ОТ и ТБ на строительной площадке; – использование комплекса методов по анализу и управлению рисками в сфере ОТ и ТБ [25]; – обеспечение сотрудников СИЗ и СКЗ. <p>Методы управления C2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – вывести охрану труда как корпоративную этику компании: создание нативной рекламы посредством устройства плакатов по ТБ, уголков по охране труда, звукового вещания напоминающего о важности соблюдения ТБ, лекций и тренингов среди сотрудников компании; – ввод системы поощрений за внесение вклада в улучшение ТБ, указание опасных факторов во время производства работ.

Продолжение таблицы 1.

Вид риска	Информационная сводка	Мероприятия по снижению риска
Хищение материалов и оборудования (N9)	Проблема хищения материалов и оборудования стоит остро в каждой компании, выполняющей строительные работы. Хищения выполняются как одним лицом, так и группой лиц независимо от статуса и положения преступника в компании. Хищение материалов и оборудования может оказать существенное влияние на стоимость строительного проекта, а также отразиться на качестве выполненных работ и продолжительности строительства.	<p>Методы управления С1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – складирование материалов и оборудования после окончания ежедневной смены в специальных вагончиках/складах для хранения; – выдача инструментов под личную ответственность сотрудникам под подпись в журнале; – устройство КПП и пункта охраны строительного объекта; – установка круглосуточного фото и видео наблюдения; – заключение договора с вневедомственной охраной; – формирование реестра выдачи материалов со склада под подпись ответственного лица; – входной контроль строительных материалов, учёт строительных материалов; – регулярное проведение инвентаризации.
		<p>Методы управления С2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – ужесточение прохода через КПП в части введения пропусков и досмотра сотрудников; – своевременная выплата заработной платы в полном объеме для исключения комбинаторских хищений со стороны сотрудников; – взвешивание машин, транспортирующих материалы на въезде и выезде с строительной площадки.
Нехватка рабочей силы (N10)	<p>Причиной может стать увеличение объемов строительства, отток рабочей силы из-за ужесточения эмиграционной политики государства, неконкурентоспособный уровень заработной платы ввиду ослабления местной валюты, отток рабочей силы на приоритетные строительные направления с большим финансированием (восстановление новых регионов, развитие оборонной промышленности), демографический дефицит, отток кадров за рубеж.</p> <p>В 2023 году из Таджикистана работать за границу выехали 652 014 человек, что на 16% меньше по сравнению с 2022 годом, когда на заработки выехали 775 578 человек. Из общего числа выезжающих за рубеж иммигрантов 627 028 человек выехали в Российскую Федерацию, 18 418 – в Казахстан и 6 568 – в другие государства [26].</p>	<p>Методы управления С1, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – по аналогии с IT-специальностями, как на государственном, так и на местном уровне вводить ряд преференций в пользу строительных специальностей; – выплата достойной конкурентно-способной заработной платы; – улучшение условий труда; – формирование реестра потенциальных сотрудников; – формирование HR-отдела, для оперативного поиска кандидатов на должности, формирования реестра потенциальных сотрудников, ведения SMM, проведения собеседований и тд.
		<p>Методы управления С2, мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – привлечение молодых специалистов из ВУЗов, студенческих отрядов; – нематериальное поощрение, улучшение имиджа компании; – поиск кандидатов на удаленную или совмещенную работу при возможности работы в таком формате для данной специальности.

Окончание таблицы 1.

Вид риска	Информационная сводка	Мероприятия по снижению риска
Отказ оборудования: Поломки или неисправности оборудования (N8)	Ни одна стройка не обходится без поломки оборудования, машин или механизмов. В зависимости от поломки оборудования могут быть серьезно сдвинуты сроки строительства (например, поломка башенного крана) и увеличены затраты строительство	Методы управления C1, мероприятия: – проверка исправности механизмов и оборудования до, во время и после окончания работ; – проведение технического освидетельствования оборудования и механизмов, применение системы цветовой кодировки механизмов с указанием даты последней проверки, ведение журналов проверки оборудования и механизмов включая регистрацию поломок в промежутке между техническим освидетельствованием.
		Методы управления C2, мероприятия: – формирование культуры надежности, смысл которой заключается в том, что при обнаружении даже самой незначительной поломки, которая не является критичной в момент производства работ, но может стать критичной впоследствии, необходимо принять меры по ее устранению.

На основе приведенных методов управления риском сформируем стратегии управления рисками лица, принимающего решения A1-A1024, некоторые из них приведены в таблице 2. Рассмотрим возможные состояния внешней среды, формирующие стратегии природы: Н – низкий уровень негативного воздействия внешней среды, В – высокий уровень негативного воздействия. Приведенные элементарные стратегии позволили сформировать стратегии природы P1-P1024, отдельные стратегии приведены в таблице 2.

Таблица 2. Фрагменты матриц стратегий ЛПП и стратегий природы

Стратегии ЛПП	N1	N2	N3	...	N10
A1	C1	C1	C1	...	C1
A2	C2	C1	C1	...	C1
A3	C1	C2	C1	...	C1
...
A1024	C2	C2	C2	...	C2

Стратегии природы	N1	N2	N3	...	N10
P1	Н	Н	Н	...	Н
P2	В	Н	Н	...	Н
P3	Н	В	Н	...	Н
...
P1024	В	В	В	...	В

Значения параметров q_i , X_i по исследуемым видам риска для различных комбинаций стратегий природы и ЛПП, оценены экспертно. В таблице 3 приведены значения экспертных оценок, к примеру, для рисков N1, N2, N5, N8.

Таблица 3. Фрагмент таблицы со значениями параметров q_i , %, X_i , % при заданных стратегиях управления рисками, реализуемой стратегии природы для рисков N1, N2, N5, N8

Внешняя среда	Риск N1				Риск N2				Риск N5				Риск N8			
	C1		C2		C1		C2		C1		C2		C1		C2	
	q1	X1	q1	X1	q2	X2	q2	X2	q5	X5	q5	X5	q8	X8	q8	X8
Н	9	14	9	7	15	10	7	5	7	20	3	9	17	14	9	3
В	20	25	20	8	30	18	15	12	13	30	10	25	27	23	18	16

На основе данных таблицы 3 построена матрица параметров игры для различных комбинаций стратегий игрока (ЛПП) и природы, фрагмент которой представлен в таблице 4. На основании данных из таблицы 4 проведен расчёт продолжительности строительства объекта методом Монте-Карло в программном комплексе Oracle Primavera Risk Analysis, получены значения оценки продолжительности срока строительства с вероятностью (надежностью) 0.9 (таблица 5) для некоторого набора стратегий D.

Расчет элементов платежных матриц осуществляется по методу Монте-Карло на основе сетевого графика работ с учетом возможных комбинаций рисков, и последствий их наступления. Для адекватной оценки критерия необходимо проводить до нескольких тысяч итераций моделирования. Для выполнения каждого расчета осуществляется настройка параметров сетевого графика и рисков. Вышесказанное приводит к существенным

вычислительным и временным затратам на оценку параметров платежной матрицы по выбранным критериям при большом количестве стратегий ЛПП и природы.

Таблица 4. Фрагмент матрицы параметров $q_i, \%$; $X_i, \%$

Стратегии ЛПП (А) и природы (Р)		Параметры, $q_i, \%$; $X_i, \%$																			
		N1		N2		N3		N4		N5		N6		N7		N8		N9		N10	
		q1	X1	q2	X2	q3	X3	q4	X4	q5	X5	q6	X6	q7	X7	q8	X8	q9	X9	q10	X10
A1	P1	9	14	15	10	15	5	10	3	7	20	17	8	20	7	17	14	12	5	28	17
A128	P384	20	8	15	12	15	4	10	5	10	25	15	10	24	9	17	14	27	23	28	17
A384	P1024	20	8	15	12	15	4	10	5	10	25	15	10	24	9	27	23	15	7	60	40
A640	P1	9	7	7	5	15	2	10	1	3	9	9	5	10	4	17	14	12	5	15	13
A768	P896	20	8	15	12	15	4	10	5	10	25	15	10	24	9	9	3	20	15	39	25
A896	P640	20	8	15	12	15	4	10	5	10	25	15	10	24	9	17	14	5	1	39	25
A1024	P1024	20	8	15	12	15	4	10	5	10	25	15	10	24	9	18	16	15	7	39	25

Таблица 5. Оценка продолжительности срока строительства с надежностью 0.9, в днях

Стратегии		Стратегии ЛПП									
		A1	A128	A256	A384	A513	A640	A768	A896	A1024	
Стратегии природы	P1	905	843	822	840	871	810	779	806	774	
	P128	1118	937	912	931	1089	904	878	902	871	
	P256	1156	992	943	988	1127	962	910	956	908	
	P384	1133	956	935	941	1106	929	904	927	882	
	P513	1098	1043	999	1034	967	915	884	905	880	
	P640	1303	1124	1102	1128	1166	993	965	987	957	
	P768	1349	1167	1131	1165	1199	1048	998	1045	997	
	P896	1322	1140	1127	1127	1181	1013	993	996	957	
	P1024	1362	1186	1145	1172	1229	1061	1019	1049	1006	

Для организации эффективного вычислительного процесса предлагается по ключевым рассчитанным значениям с использованием метода наименьших квадратов построить аппроксимирующую функцию для вычисления остальных элементов платежной матрицы. В качестве независимых переменных в модели аппроксимации используются оценки для вероятностей возникновения рисков и параметры оценок влияния на продолжительность проекта по видам риска при соответствующей стратегии, т.е. для наборов параметров $X_i, i=1,..10$ и $q_i, i=1,..10$ (фрагмент набора данных представлен в таблице 4) были рассчитаны: математическое ожидание (X_{aver}, q_{aver}), среднее квадратическое отклонение (X_{sq}, q_{sq}), минимальное значение (X_{min}, q_{min}), максимальное значение (X_{max}, q_{max}), медиана (X_{med}, q_{med}),

$S = \sum_{i=1}^N X_i^{(k,l)} \cdot q_i^{(k,l)}$ для последовательностей $X_i^{(k,l)}$ и $q_i^{(k,l)}$ соответственно, для каждой пары стратегий A_k, P_l . В качестве зависимой переменной выступает выбранный целевой критерий: продолжительность строительства с надежностью 0.9 при выборе ЛПП стратегии k , и реализации природой стратегии l . Наилучшая модель аппроксимации для продолжительности строительства с надежностью 0.9 имеет вид:

$$\hat{y} = 817,782 + 0,157 * S + 18,414 * X_{min} - 1,659 * X_{max} + 0,292 * X_{med} + 42,226 * X_{aver} + 78,717 * X_{sq} - 42,377 * q_{min} + 9,483 * q_{max} - 33,891 * q_{med} + 27,341 * q_{aver} - 150,908 * q_{sq}$$

Качество модели аппроксимации: $R^2=0,92$, Mean Percent Error = -0,12. На основании построенной модели оцениваются значения для продолжительности строительства с надежностью 0.9 для каждой пары стратегий, не вошедших во множество D .

На основании построенных моделей были оценены значения критерия для остальных стратегий с помощью разработанного авторами программного инструмента. Далее на основе сформированной платежной матрицы определена стратегия, к примеру, по критерию Лапласа:

стратегия A1014 (C2, C2, C2, C2, C2, C2, C1, C2, C2, C1), значение критерия Лапласа для оптимальной стратегии 751,357 дней. Таким образом, по выбранному целевому критерию и критерию принятия решений целесообразно в качестве стратегии управления по рискам N1-N6, N8, N9 выбрать вариант C2 – «существенное снижение риска», по рискам N7, N10 стратегию C1 – «снижение риска». Аналогично могут быть построены модели, например, для оценки значения средней продолжительности проекта, вероятности завершения строительства в планируемый срок и других характеристик закона распределения продолжительности строительства.

Заключение. В работе предложен алгоритм решения задачи выработки стратегии управления рисками объекта строительства, который позволяет моделировать продолжительность строительства объектов в условиях рисков. Решены задачи: выявлены ключевые риски, влияющие на строительные проекты; разработана модель, описывающая план реализации строительства объекта с учетом рискованных ситуаций; предложена методика формирования стратегий принятия решений; проведена апробация методики на примере выявленных видов риска. За счет введения этапа аппроксимации значений платежной матрицы по характеристикам законов распределения параметров, характеризующих стратегии ЛПР и природы, алгоритм может быть масштабирован на большое количество рисков.

Разработанный инструментарий позволит эффективно управлять рисками в строительных проектах. Предложенный подход обеспечивает переход от качественной оценки рисков к количественно обоснованному выбору управленческих решений. Использование методов имитационного моделирования и теории игр позволяет учитывать неопределенность внешней среды, вариативность сценариев реализации рисков и их совокупное влияние на сроки строительства. Данный подход может иметь высокую практическую значимость при реализации инвестиционно-строительных проектов и возможность интеграции в систему управления рисками на различных этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.

Перспективы дальнейших исследований могут быть связаны с увеличением количества критериев, включением стоимостных и ресурсных показателей, а также автоматизацией расчетных процедур.

Список источников

1. Федеральная служба государственной статистики. – URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 22.01.2025).
2. Цопа Н.В. О необходимости применения риск-ориентированных методов для обеспечения устойчивости инвестиционно-строительного проекта / Н.В. Цопа // Строительство и техногенная безопасность, 2017. – № 7 (59). – С. 25–35.
3. Духанина Е.В. Реализация риск-ориентированного подхода в управлении инвестиционно-строительным процессом / Е.В. Духанина, А.Т. Хаметова // Вестник евразийской науки. – 2023. – Т. 15. – № 2. – URL: <https://esj.today/PDF/10SAVN223.pdf> (дата обращения: 25.01.2025).
4. Дмитриевна Г.Н. Современные проблемы управления предприятиями в условиях неопределенности / Г.Н. Дмитриевна, П.Ю. Рифатовна, П.В. Анатольевич // Стратегии устойчивого развития: социальные, экономические и юридические аспекты, 2024. – С. 135–136.
5. Тогузова И.З. Управление рисками в современной корпорации / И.З. Тогузова, Е.И. Антонова, Д.А. Гульчеева. // Аудиторские ведомости, 2024. – № 1. – С. 177-182. – DOI: 10.24412/1727-8058-2024-1-177-182. – EDN: DERCGN.
6. Забелин А.А. Управление инвестиционными рисками / А.А. Забелин // Образование и право, 2023. – № 11. – С. 236–242. – EDN: AVPLKA.
7. Вавилин Я.А. Применение теории игр для выбора методов риск-менеджмента / Я.А. Вавилин // Компетентность, 2023. – № 5. – С. 42–46. – DOI: 10.24412/1993-8780-2023-5-42-46. – EDN: XQYAPX.
8. Петриченко Д.Г. Решение ситуационных задач в сфере недвижимости в условиях неопределенности / Д.Г. Петриченко, Г.С. Петриченко // Вестник Академии знаний, 2023. – № 1 (54). – С. 400–405. – EDN: TOBOTX.

9. Ахвердиева С.Г. Воздействие экономических рисков на эффективность проектов в нефтегазовой отрасли / С.Г. Ахвердиева, Т.В. Кириченко, Е.В. Лемешева, и др. // Финансовые рынки и банки, 2024. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-ekonomicheskikh-riskov-na-effektivnost-proektov-v-neftegazovoy-otrasli/viewer> (дата обращения: 01.06.2024).
10. Панюшкин В.А. Применение теории игр в строительстве / В.А. Панюшкин // Экономика, менеджмент, сервис: современные проблемы и перспективы: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 14–15 ноября 2022 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2022. – С. 150–154. – EDN NMJHA.
11. Капусто А.В. Организация финансового планирования деятельности подрядчика в условиях полной неопределенности с применением аппарата теории игр / А.В. Капусто, С.Н. Костюкова // Цифровизация: экономика и управление производством: материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, Минск, 31 января – 12 февраля 2022 года. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 2022. – С. 138–141. – EDN: GYNWMU.
12. Федосов С.В. Особенности использования отечественного и зарубежного инструментария имитационного моделирования строительных конструкций зданий и сооружений / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, И.С. Зайцев, И.А. Зайцева // Умные композиты в строительстве, 2023. – Т. 4, вып. 2. – С. 18–31.
13. Тараненко С.Н. Анализ математических моделей в области оценки рисков кредитных организаций / С.Н. Тараненко // Инновационная наука, 2024. – № 2–1. – С. 56–61.
14. Ковалева Е.А. Модуль «Планирование в условиях рисков» программного комплекса «Эколого-математическое моделирование аграрного производства» / Е.А. Ковалева, Я.М. Иванько // Информационные и математические технологии в науке и управлении. – 2022. – № 3(27). – С. 135–147. – DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.013.
15. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) 6th edition. Project Management Institute (PMI), 2017 756 с.
16. Строительство в российских регионах: итоги 2023 года. – URL: <https://sherpagroup.ru/analytics/gkvp45> (дата обращения: 08.05.2024).
17. Макарова Д.К. Влияние инфляции на деятельность строительных фирм / Д.К. Макарова, Е.А. Малаева // Экономика и социум, 2016. – № 12-2 (31). – С. 148–151.
18. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 20.05.2024).
19. Главная страница. Минстрой России. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/> (дата обращения: 20.05.2024).
20. Высокий сезон в грузоперевозках: особенности и вызовы в 2023 году. – URL: <https://monopoly.ru/blog/dengi/vysokij-sezon-v-gruzoperevozkah-osobennosti-i-vyzovy-v-2023-godu/> (дата обращения: 20.05.2024).
21. Управление строительными проектами на основе фи-девелопмента. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-stroitelnyimi-proektami-na-osnove-fi-developmenta/viewer> (дата обращения: 20.05.2024).
22. Управление проектами в строительстве – описание, задачи, классификация строительства, инструменты для управления проектом в строительстве. – URL: https://1solution.ru/events/articles/upravlenie-proektami-v-stroitelstve/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (дата обращения: 20.05.2024).
23. Главгосэкспертиза назвала типичные ошибки в проектной документации. СРО НОССИ. – URL: https://sro-nossi.ru/novosti_sro/2022_08_18_glavgosexpertiza_nazvala_tipichnye_oshibki_v_proektnoy_dokumentatsii (дата обращения: 08.05.2024).
24. Сколько людей получает производственные травмы. – URL: <https://journal.tinkoff.ru/injuries-at-work-stat/> (дата обращения: 20.05.2024).
25. Сидоренко Н.А. Анализ и управление рисками при организации строительных работ / Н.А. Сидоренко, О.Н. Яркова // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции, Омск, 23–24 ноября 2023 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2023. – С. 403–409. – EDN URWHPM.
26. Трудовая миграция из Таджикистана в 2023 году сократилась на 16%. – URL: <https://www.interfax.ru/world/945780> (дата обращения: 08.05.2024).

Сидоренко Никита Александрович. Аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. AuthorID: 1165455, SPIN: 3071-3684, ORCID: 0000-0002-9071-8424. nikitasidorenko1998@gmail.com. 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская улица, дом 4, каб. 204/С.

Яркова Ольга Николаевна. К.э.н., доцент, доцент кафедры технологий информационного и

математического моделирования Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. AuthorID: 568918, SPIN: 3146-5581, ORCID: 0000-0002-8745-3031. Yarkova_on@mail.ru. 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская улица, дом 4, каб. 204/С.

UDC 519.816:519.245:65.012.12

DOI:10.25729/ESI.2026.41.1.011

Algorithm for developing a risk management strategy in construction projects

Nikita A. Sidorenko, Olga N. Yarkova

Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Russia, Saint Petersburg, *nikitasidorenko1998@gmail.com*

Abstract. This article is devoted to the development of mathematical tools that allow for the justification of strategic risk management decisions when implementing a construction plan within the established time frame. The process of risk management in the construction industry requires construction companies to adapt to modern realities and implement modern risk management systems for the successful implementation of construction projects. One of the most important indicators of project implementation effectiveness is the compliance of the construction project implementation deadline with the planned values. It is important to correctly assess the construction deadlines, taking into account the risks affecting the project implementation. The purpose of the work is to develop tools that allow modeling the duration of a construction project implementation under risk conditions. The paper analyzes existing approaches to risk management in construction projects and proposes a methodology for developing a risk management strategy, tested on the example of the construction of a typical residential building. For the project under consideration, key risks affecting the duration of construction have been identified. An example of the formation of a matrix of controllable parameters is shown. A method for constructing a game matrix based on a network graph of the construction plan for given player and nature strategies is described: the duration of work is simulated using the Monte Carlo method, and a probability distribution of the project completion time is obtained; the possibility of reducing the computational complexity of the algorithm by approximating a series of game matrix values using the least squares method is shown; the game matrix is constructed, for example, based on the characteristics of the probability distribution “construction period with a given probability (reliability)”, and a decision-making strategy based on Laplace's principle is defined. The application of the developed toolkit for assessing the risks of project failure within the established deadlines will allow for effective risk management in construction projects. The proposed approach may be of high practical significance in the implementation of construction projects and can be integrated into the risk management system at various stages of the construction project life cycle.

Keywords: risk management, statistical modeling, game theory, risk-oriented approach, construction projects

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Federal State Statistics Service]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 01/22/2025)
2. Tsopa N.V. O neobkhodimosti primeneniya risk-orientirovannykh metodov dlya obespecheniya ustojchivosti investitsionno-stroitel'nogo proekta [On the necessity of using risk-oriented methods to ensure the sustainability of an investment and construction project]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'* [Construction and technological safety], 2017, no. 7 (59), pp. 25–35.
3. Dukhanina E.V., Khametova A.T. Realizatsiya risk-orientirovannogo podkhoda v upravlenii investitsionno-stroitel'nym protsessom [Implementation of a risk-based approach in the management of the investment and construction process]. *Vestnik evrazijskoj nauki* [The Eurasian Scientific Journal], 2023, vol. 15, no. 2. Available at: <https://esj.today/PDF/10SAVN223.pdf> (accessed 01/25/2025).
4. Dmitrievna G.N., Rifatovna P.Yu., Anatol'evich P.V. Sovremennye problemy upravleniya predpriyatiyami v usloviyakh neopredelennosti [Contemporary problems of enterprise management in conditions of uncertainty]. *Strategii ustojchivogo razvitiya: sotsial'nye, ekonomicheskie i yuridicheskie aspekty* [Sustainable development strategies: social, economic, and legal aspects], 2024, pp. 135–136.

5. Toguzova I.Z., Antonova E.I., Gul'cheeva D.A. Upravlenie riskami v sovremennoj korporatsii [Risk management in a modern corporation]. *Auditorskie vedomosti* [Audit journal], 2024, no. 1, pp. 177-182, DOI: 10.24412/1727-8058-2024-1-177-182, EDN: DERCGN.
6. Zabelin A.A. Upravlenie investitsionnymi riskami [Investment risk management]. *Obrazovanie i pravo* [Education and law], 2023, no. 11, pp. 236–242, EDN: AVPLKA.
7. Vavilin Ya.A. Primenenie teorii igr dlya vybora metodov risk-menedzhmenta [Game theory application to the choice of risk management methods]. *Kompetentnost'* [Competency], 2023, no. 5, pp. 42–46, DOI: 10.24412/1993-8780-2023-5-42-46, EDN: XQYAPX.
8. Petrichenko D.G., Petrichenko G.S. Reshenie situatsionnykh zadach v sfere nedvizhimosti v usloviyakh neopredelennosti [Solving real estate situational in conditions of uncertain]. *Vestnik Akademii znaniy* [Academy of Knowledge Bulletin], 2023, no. 1 (54), pp. 400–405, EDN: TOBOTX.
9. Akhverdieva S.G., Kirichenko T.V., Lemesheva E.V., Kazak A.S., Komzolov A.A. Vozdejstvie ekonomicheskikh riskov na effektivnost' proektov v neftegazovoy otrasli [Impact of economic risks on the efficiency of projects in the oil and gas industry]. *Finansovye rynki i banki* [Financial markets and banks], 2024, no. 3. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-ekonomicheskikh-riskov-na-effektivnost-proektov-v-neftegazovoy-otrasli/viewer> (accessed 06/01/2024).
10. Panyushkin V.A. Primenenie teorii igr v stroitel'stve [Application of game theory in construction]. *Ekonomika, menedzhment, servis: sovremennye problemy i perspektivy: materialy IV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Omsk, 14–15 noyabrya 2022 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet [Economics, Management, Service: Contemporary Issues and Prospects: Proceedings of the IV All-Russian Scientific and Practical Conference, Omsk, November 14–15, 2022. Omsk: Omsk State Technical University], 2022, pp. 150–154, EDN: NMJHA.
11. Kapusto A.V., Kostyukova S.N. Organizatsiya finansovogo planirovaniya deyatelnosti podryadchika v usloviyakh polnoj neopredelennosti s primeneniem apparata teorii igr [Organization of financial planning for contractor activities in conditions of complete uncertainty using game theory]. *Tsifrovizatsiya: ekonomika i upravlenie proizvodstvom: materialy 86-j nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava*, Minsk, 31 yanvarya – 12 fevralya 2022 goda, Minsk: Belorusskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet [Digitalization: Economics and Production Management: Proceedings of the 86th Scientific and Technical Conference of Faculty Members, Minsk, January 31–February 12, 2022. – Minsk: Belarusian State Technological University], 2022, pp. 138–141, EDN: GYNWMU.
12. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zajtsev I.S., Zajtseva I.A. Osobennosti ispol'zovaniya otechestvennogo i zarubezhnogo instrumentariya imitatsionnogo modelirovaniya stroitel'nykh konstruktivnykh zdaniy i sooruzhenij [Features of domestic and foreign simulation tools use for structural modeling of civil engineering buildings and constructions]. *Umnye kompozity v stroitel'stve* [Smart composites in construction], 2023, vol. 4, no. 2, pp. 18–31.
13. Taranenko S.N. Analiz matematicheskikh modelej v oblasti otsenki riskov kreditnykh organizatsij [Analysis of mathematical models in the field of credit institution risk assessment]. *Innovatsionnaya nauka* [Innovative science], 2024, no. 2–1, pp. 56–61.
14. Kovaleva E.A., Ya.M. Ivan'ov. Modul «Planirovanie v usloviyakh riskov» programmno kompleksa «Ekologo-matematicheskoe modelirovanie agrarnogo proizvodstva» [Module "Planning under risks" of the software package "Ecological and mathematical modeling of agricultural production"]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii* [Information and mathematical technologies in science and management], 2022, no. 3(27), pp. 135-147, DOI: 10.38028/ESI.2022.27.3.013.
15. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Project Management Institute (PMI), 2017. – 756 pp.
16. Stroitel'stvo v rossijskikh regionakh: itogi 2023 goda [Construction in Russian regions: results for 2023]. Available at: <https://sherpagroup.ru/analytics/gkvp45> (accessed 05/08/2024).
17. Makarova D.K., Malaeva E.A. Vliyanie inflyatsii na deyatelnost' stroitel'nykh firm [influence of inflation on activity of civil engineering firms]. *Ekonomika i sotsium* [Economy and society], 2016, no. 12-2 (31), pp. 148–151.
18. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federatsii ot 07.05.2024 g. № 309 [Decree of the President of the Russian Federation No. 309 dated May 7, 2024]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50542> (accessed 05/20/2024).
19. Glavnaya stranitsa. Ministroy Rossii [Home page. Ministry of Construction of Russia]. Available at: <https://www.minstroyrf.gov.ru/> (accessed 05/20/2024).
20. Vysokij sezon v gruzoperevozkakh: osobennosti i vyzovy v 2023 godu [High season in freight transportation: features and challenges in 2023]. Available at: <https://monopoly.ru/blog/dengi/vysokij-sezon-v-gruzoperevozkah-osobennosti-i-vyzovy-v-2023-godu/> (accessed 05/20/2024).

21. Upravlenie stroitel'nymi proektami na osnove fi-developmenta [Construction project management based on fi-development]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/upravlenie-stroitel'nymi-proektami-na-osnove-fi-developmenta/viewer> (accessed 05/20/2024).
22. Upravlenie proektami v stroitel'stve – opisanie, zadachi, klassifikatsiya stroitel'stva, instrumenty dlya upravleniya proektom v stroitel'stve [Project management in construction – description, tasks, classification of construction, tools for managing construction projects]. Available at: https://1solution.ru/events/articles/upravlenie-proektami-v-stroitel'stve/?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed 05/20/2024).
23. Glavosekspertiza nazvala tipichnye oshibki v proektnoj dokumentatsii. SRO NOSSI [The Main State Expert Review Board has identified typical errors in project documentation. SRO NOCCI]. Available at: https://sro-nossi.ru/novosti_sro/2022_08_18_glavosekspertiza_nazvala_tipichnye_oshibki_v_proektnoy_dokumentatsii (accessed 05/08/2024).
24. Skol'ko lyudej poluchaet proizvodstvennye travmy [How many people suffer work-related injuries]. Available at: <https://journal.tinkoff.ru/injuries-at-work-stat/> (accessed 05/20/2024).
25. Sidorenko N.A., Yarkova O.N. Analiz i upravlenie riskami pri organizatsii stroitel'nykh rabot [risk analysis and management in the organisation of construction works] *Arkhitekturno-stroitel'nyj i dorozhno-transportnyj kompleksy: problemy, perspektivy, innovatsii: sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, 23–24 noyabrya 2023 goda. Omsk: Sibirskij gosudarstvennyj avtomobil'no-dorozhnyj universitet (SibADI) [Architectural, Construction, Road, and Transport Complexes: Problems, Prospects, Innovations: Collection of Materials from the VIII International Scientific and Practical Conference, Omsk, November 23–24, 2023. – Omsk: Siberian State Automobile and Road University (SibADI)], 2023, pp. 403–409, EDN: URWHPM.*
26. Trudovaya migratsiya iz Tadjikistana v 2023 godu sokratilas' na 16% [Labor migration from Tajikistan decreased by 16% in 2023]. Available at: <https://www.interfax.ru/world/945780> (accessed 05/08/2024).

Sidorenko Nikita Aleksandrovich. *Post-graduate student of Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. AuthorID: 1165455, SPIN: 3071-3684, ORCID: 0000-0002-9071-8424, nikitaidorenko1998@gmail.com. 190005, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya Street, Building 4, Office 204/C*

Yarkova Olga Nikolaevna. *PhD in Economics, Associate Professor, Department of Information and Mathematical Modeling Technologies, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering. AuthorID: 568918, SPIN: 3146-5581, ORCID: 0000-0002-8745-3031, Yarkova_on@mail.ru. 190005, Saint Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya Street, Building 4, Office 204/C.*

Статья поступила в редакцию 25.09.2025; одобрена после рецензирования 24.10.2025; принята к публикации 10.02.2026.

The article was submitted 09/25/2025; approved after reviewing 10/24/2025; accepted for publication 02/10/2026.