

Методика оценки совокупного риска задержки завершения строительного-монтажных работ

Надим К. Р. Хурейни

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

Аннотация: Обоснована более адекватная методика для оценки совокупного риска несвоевременного завершения строительного-монтажных работ, с учетом временного горизонта возникновения рисков, и явления конкуренции между рисками с двумя его перспективами с точки зрения вероятности и их воздействия. Одной из наиболее распространенных проблем, возникающих в строительных проектах, является задержка, вызванная рисками. Однако существующие исследования по оценке рисков и анализу графика проекта упускают из виду тот факт, что совокупный риск зависит от последовательности возникновения рисков и их взаимодействия. В статье представлен алгоритм решения и обоснован расчетный метод определения рискованной продолжительности работ в расписании проекта. Эта информация имеет решающее значение для внесения корректировок в график и для разработки эффективных стратегий реагирования на риски. В предоставленных нами примерах расчета мы продемонстрировали, что наш подход отличается от классического метода.

Ключевые слова: вероятностное планирование, задержки, совокупный риск, оценка риска, неопределенность, строительства, управление, количественный анализ, сроки, инвестиционных проектов.

Риски и неопределенность являются неотъемлемой частью любого проекта в этом мире, и строительные проекты не являются исключением, учитывая их уникальные характеристики с точки зрения сложности, продолжительности и количества участников. Однако, на практике многие из этих событий сложно идентифицировать и анализировать, что приводит к невозможности предвидеть будущие условия проекта и делает план и цели проекта более уязвимыми для излишних затрат и задержек [1,2].

Согласно [3,4], риски могут возникать в любое время в процессе строительства и влиять на течение выполнения строительных, монтажных работ, следствием чего становится расхождение фактического и запланированного их прогресса.

Составление реалистичного календарного графика, учитывающего потенциальные риски, по-прежнему является одним из основных ключей к

успеху строительных проектов и одним из самых больших испытаний, с которыми специалисты сталкиваются в своих проектах.

Управление рисками рассматривается, как непрерывный процесс через этапы планирования, реализации и контроля до завершения и закрытия проекта [5].

Различные стандарты представляют разные интерпретации понятия «риск». В соответствии с ГОСТР 51897-2011 Менеджмент риска. Термины и определения, риск рассматривается как результат воздействия неопределенности на достижение цели.

Согласно Своду знаний по управлению проектами (PMBOK), риск определяется, как неопределенное событие или ситуация, которые могут оказать как положительное, так и отрицательное воздействие на проект [6].

С другой стороны, стандарт (ГОСТР 58970-2020 Менеджмент риска) предоставляет основные шаги для количественной оценки влияния рисков на стоимость и сроки инвестиционных проектов.

Например, в [7] риск является неопределенностью свершения некоторого события, влияющего на длительность запланированных мероприятий, а «фактор риска» определяется, как обстоятельство, воздействующее на вероятность или последствия реализации риска, но не обязательно являющееся его непосредственной причиной.

В рамках настоящей статьи вышеуказанные определения будут приняты в совокупности.

В строительных работах, воздействующих на сроки выполнения, факторы риска разнообразны и классифицируются авторами [8,9] по-разному, но отмечается недостаток единообразного информативного описания.

В литературе выделяют два главных метода анализа рисков:

- 1) Качественный анализ рисков, который определяет приоритет рисков для последующего анализа. Риски выявляются и оцениваются на
-

основе экспертных оценок. Этот процесс может включать использование матриц рисков для оценки вероятности и воздействия каждого риска. Качественный анализ проводится через интервью, мозговой штурм или семинары с участниками проекта.

- 2) Количественный анализ рисков, представляет собой математический анализ влияния рисков на общие цели проекта. Он может предоставить подробную информацию о вероятности различных результатов и помочь руководителям проектов разработать эффективные стратегии управления рисками [10].

Учет рисков и неопределенности в графиках проекта начался с использования вероятностных методов планирования, таких, как PERT и GERT, для снижения неопределенности. PERT расширил метод критического пути на вероятностные интервалы с использованием бета - распределения для моделирования продолжительности операций. Однако GERT редко используется из-за сложности моделирования.

Авторы статьи [11] представили метод, который объединяет опыт менеджера по рискам проекта с использованием статистических распределений с помощью простого уравнения и структурированного опросника. Однако стоит отметить, что необходимо более детально анализировать факторы риска, перечисленные в опроснике, и адаптировать их так, чтобы они максимально соответствовали уникальным характеристикам конкретных проектов. Кроме того, следует рассмотреть возможность использования альтернативных статистических распределений для моделирования продолжительности работ.

Авторы исследования [12] представили метод управления рисками в инфраструктурных проектах с использованием модификации технологии TOPSIS, разработанной Хвонгом и Юном. В данной модификации рассматривается множество лиц, участвующих в процессе принятия

решений. Однако, следует отметить, что в данном контексте возникают ограничения при получении точных данных относительно процентного увеличения затрат и времени на каждую работу и связанные с ней риски. Кроме того, методология не учитывает корреляцию между различными факторами риска. Для дальнейшего усовершенствования данной методики рекомендуется рассмотреть возможность использования теории нечетких множеств и вероятностного рассуждения, что может сделать управление рисками более эффективным.

В статье [13] авторы использовали метод PERT в сочетании с технологией дерева решений для управления рисками на различных этапах энергетических проектов. Другое применение метода PERT можно найти в [14], где использовались метод PERT и моделирование Монте-Карло для управления рисками при реализации инвестиционно-строительных проектов. Следует отметить, что существует множество исследований, посвященных оценке рисков и прогнозированию продолжительности работ и проектов в целом. Например, в статье [15] был представлен расчет пессимистической задержки в строительстве, основанный на формализованной связи с пессимистической дисконтной ставкой и использовании метода линейной интерполяции. А в [16], на основе расчета энтропии актуального графика, авторы смогли прогнозировать продолжительность строительства.

Несмотря на богатый вклад исследователей в управление рисками в контексте строительных проектов и планирования, важно помнить о следующих ограничениях:

- 1) Главное внимание уделяется классификации рисков, но требуется интеграция этой классификации в расчет совокупного риска для предотвращения задержек в строительстве;
 - 2) Не учитывается различие в вероятности воздействия рисков в зависимости от типа работ;
-

3) Игнорируются причинно-следственные связи между рисками и не учитывается временной горизонт возникновения рисков.

Отсутствие единого стандартизированного подхода к оценке рисков и расчету сроков строительства усугубляет эту проблему. Предложенный в данной статье математический аппарат направлен на преодоление этих ограничений, учитывая взаимосвязи между рисками, временными факторами и вероятностями их воздействия. Это позволит более точно оценивать совокупный риск и избегать предвзятости при определении продолжительности задач.

Под понятием конкурирующих рисков мы подразумеваем ситуации, когда два или более риска напрямую конфликтуют друг с другом с точки зрения вероятности или воздействия. Этот термин часто используется в медицинском, финансовом и актуарном контексте, где важно понимать взаимосвязь между различными рисками и как они могут влиять друг на друга.

С точки зрения вероятности, конкурирующие риски относятся к ситуациям, в которых несколько рисков конкурируют друг с другом и когда возникновение одного риска влияет на вероятность возникновения другого, увеличивая или снижая вероятность их возникновения.

С точки зрения воздействия, конкурирующие риски относятся к ситуациям, в которых влияние нескольких рисков перекрывается друг с другом: один риск поглощает другой. Для объяснения давайте рассмотрим ситуации, когда в процессе работы могут возникнуть два риска:

1) невыход сотрудников на работу с воздействием (задержкой) 2 дня, 2) внезапная остановка работы по внешним причинам составляет 4 дня, их совокупное воздействие будет равняться их сумме только в том случае, если один из них реализуется первым, а второе событие происходит только после

того, как прекращается действие первого, в том же случае, если оба будут происходить одновременно, тогда совокупный риск будет равняться четырем дням.

На рисунке 2 показаны операции и три независимых риска. Из рисунка видно, что совокупный риск не равен сумме рисков при их наложении друг на друга. Таким образом, мы можем рассчитать максимальное возможное значение совокупного риска (задержки), исходя из любого целевого сценария при определении их горизонта и времени возникновения.



Рис. 1. – Графическое представление конкурирующего феномена для определения максимальной величины совокупного риска.

Два ранее упомянутых явления требуют моделирования временного горизонта возникновения каждого из них для повышения качества расчета совокупного риска, связанного с выполнением работ в рамках графика проекта.

Для представления взаимосвязей между рисками можно использовать модели сети рисков, которые разрабатываются с помощью экспертов.

Пример таких сетей можно найти в [17], где используются Байесовские сети.

Несмотря на эффективность этих сетей, они не учитывают временной и пространственный горизонт риска при представлении связи между рисками,

не учитывают особенность топологии сетевого графика, и фиксируются только на вероятности, что ограничивает эффективность их применения.

Например, чтобы представить зависимости между рисками, мы не можем смоделировать связь воздействия между риском, который возникает в отдаленном будущем при работе, и риском, который может возникнуть в ближайшем будущем, но возможно обратное.

По нашему мнению, нужно использовать такую классификацию, которая бы смогла упростить процесс вычисления совокупного риска, для этого предлагаем, риски, которые могут представлять угрозу для строительно-монтажных работ, разделить следующим образом:

1. Риски, которые могут возникнуть до выполнения работ и повлияют на дату начала работ (такие, как риск получения предварительных разрешений или задержки доставки материалов, и так далее).
2. Риски, которые могут возникнуть после выполнения (во время сдачи работы), влияющие на дату окончания работы, и могут задержать завершение работы в указанную дату, такие, как риск переделки из-за низкого качества.
3. Риски, которые могут возникнуть при выполнении работ, которые могут увеличить продолжительность работ (риски, связанные с ресурсами и их производительностью — риски, приводящие к внезапной остановке работы).
4. Риски, связанные с объемом работы, которые могут увеличить объем работы и, таким образом, увеличат период, необходимый для ее выполнения, такие, как риск ошибок в проектной документации и смет, также риск увеличения объема работы, из-за внешних условий, таких, как геологические условия при выполнении земляных работ.

Совокупный риск работы представляет собой сумму воздействия рисков, которые могут возникнуть до, во время и после выполнения работ, относящихся к указанным выше в классификации.

Однако совокупный риск в каждой группе не равен сумме рисков.

Рассмотрим риски, которые могут возникнуть до выполнения и повлиять на дату начала работ. Если реализуется риск получения предварительных разрешений, и риск задержки поставки материалов, то их совокупная величина не является суммой их последствий, а будет наибольшей величиной.

Также, в случае рисков, которые могут возникнуть при выполнении работ, совокупный риск, связанный с ресурсами и их производительностью, представляет собой их сумму, но в случае наложения этих рисков на риски, приводящие к внезапной остановке работы, конкуренцию этих рисков необходимо рассматривать с позиции воздействия. Например, если реализуется риск остановки работы из-за суровых погодных условий на один день и риск невыхода работника на работу одновременно, то совокупный риск не равен их сумме (два дня), а точнее значению (один день), потому что в итоге никакая работа не проводилась.

Для иллюстрации того, как риск может быть оценен с использованием разработанного нами подхода и аппарата вычисления, рассмотрим пример, в котором в качестве планируемой продолжительности работы используется безрисковая составляющая, равная $T_{pl}=12$ дней. Вместе с этим, для более адекватного планирования времени выполнения работы, учтем 5 рисков, которые потенциально могут привести к задержке ее выполнения. Для формирования последующего примера допустим, что оценка риска задержки, связанная с получением разрешения на выполнение работ, составляет 3 дня. В качестве второго рискового события примем задержку поставки материалов, приводящую к задержке в начале выполнения работ на 2 дня. В

качестве третьего рисковогó события рассмотри возникновение таких погодных условий, при которых невозможно проведение работ, и эта задержка составляет 5 дней. В качестве четвёртого рисковогó события примем задержку из-за снижения производительности, вызванную недоступностью ресурса (машин, труда) для выполнения работ на 3 дня. В качестве пятого риска рассмотрим ситуацию: потенциальная нетрудоспособность основного строительного мастера. Риск невыхода на работу такого специалиста при проведении важных технологических и других операций приведет к недостаточному или полному отсутствию контроля за выполнением работ, что, в свою очередь, может означать некачественное выполнение работ и, как результат, необходимость частичной или полной процедуры «переделки» и увеличение сроков завершения строительства на 4 дня.

Таким образом, при известных значениях вероятностей появления рисковогó события, мы можем рассчитать среднюю задержку выполнения работ по формуле:

$$D = p_1 I_1 + p_2 I_2 + p_3 I_3 + p_4 I_4 + p_5 I_5 \quad (1)$$

где p_i - это вероятность задержки продолжительности от возникновения i -го риска, I_i - абсолютные задержки продолжительности работы, связанные с i -м риском.

По представленной выше формуле (1) мы можем рассчитать параметры, которые требуются для применения метода PERT [18]. Оптимистическая задержка рассчитывается при условии, что все вероятности равны нулю, а для пессимистической задержки их нужно принять равными единице, и при усредненных вероятностях получим наиболее вероятную задержку. При наличии данных по функциям распределения таких вероятностных задержек [19], рассчитать показатели проекта возможно методом статистических испытаний.

Давайте оценим разницу в расчете пессимистической задержки, которую можно рассчитать, если все вероятности принять равными единице при классическом подходе и при учете конкурирующего явления с точки зрения воздействия.

При классическом подходе $D=3+2+5+3+4=17$, и тогда рискованная продолжительность работы при пессимистическом сценарии рассчитывается согласно уравнению и составляет 29 дней:

$$T_{ris} = T_{plan} + D, \quad (2)$$

где T_{ris} – это рискованная продолжительность работы.

А расчёт максимально возможного совокупного риска при пессимистическом сценарии с учетом горизонта времени возникновения рисков можно произвести, согласно нашей методике. Поскольку горизонты заданы в виде диапазона, чтобы извлечь максимальное количество задержек, вызванных идентифицированными рисками для каждой операции в графике, соблюдается следующий алгоритм:

1. Классификация рисков по ранее упомянутым четырем типам.
2. Создание сети рисков и обновление вероятности возникновения риска, если между ними существует конкурентная или синергетическая связь с позиции вероятности. В нашем случае она отсутствует и все вероятности приняты, равными единице.
3. Создание сетевой диаграммы для рисков в соответствии с их горизонтом времени возникновения и воздействия, E_s - указывает на самый ранний возможный по времени возникновения риск, E_f - указывает на самый ранний возможный по времени завершения риск, L_s - указывает на самый поздний возможный по времени возникновения риск, L_f - указывает на самый поздний возможный по времени

завершения риск, I - указывает на воздействие риска, как показано на рисунке 3.

4. Рассчитаем значения совокупного риска и продолжительность работ по разработанной методике:

1. Рассчитываем E_f, L_f каждого риска, согласно формуле:

$$E_f R_i = E_s R_i + I_i p_i, \quad (3), \quad L_f R_i = L_s R_i + I_i p_i, \quad (4)$$

2. Совокупный риск d , для каждой группы i , при наложении рисков рассчитывается по следующему математическому выражению и отмечается на стрелке:

$$d_i = \min \left[\sum_{i=1}^n (p_i I_i), \max (L_f R_i - \min E_s R_j, L_f R_j - \min E_s R_i) \right], \quad (5)$$

где R_i, R_j – указывают на разные риски в расчете.

3. Совокупный риск (максимально возможная задержка, вызванная рисками) на уровне работы составляет сумму всех рисков для всех стрелок.

$$D = \sum_{i=1}^n d_i, \quad (6)$$

4. Рассчитывается продолжительность работы при пессимистическом сценарии:

$$T_{ris} = T_{plan} + D = 12 + 14 = 26 \text{ дней}$$

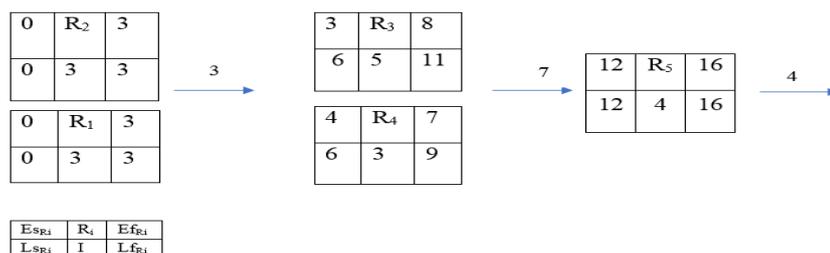


Рис. 2. – Сетевая диаграмма расчета совокупного риска работы.

Исходя из расчета, можно увидеть отличие между нашим и классическим подходом, что свидетельствует о том, что классический подход может чрезмерно оценивать задержки, поскольку не учитывает конкурирующее явление между рисками, а также указывает на то, что работа не может пребывать одновременно в двух состояниях. Например, работа не может быть остановлена и одновременно идти медленно из-за снижения производительности, или остановки и переделки работы.

Для объяснения явления конкуренции и синергии между рисками с точки зрения вероятности, рассмотрим следующий пример:

На 12-дневную работу влияют 3 риска, каждый с вероятностью 30%, и их воздействие: $R_1 = 1$ день, $R_2 = 2$ дня, $R_3 = 3$ дня.

Классический подход при оценке вероятности предполагает, что все риски независимы друг от друга, тогда совокупное воздействие рисков будет рассчитано (средняя задержка, из-за рисков) по уравнению (1) и составляет 1,8 дней, а по уравнению 2 будет рассчитана T_{ris} и составит 13,8 дней.

При учете конкуренции и синергии между рисками с точки зрения вероятности, для простоты предположим, что эти риски и их общий горизонт друг с другом не перекрываются (феномен конкуренции между рисками с точки зрения воздействия отсутствует), но существует 100-процентная вероятность того, что риск 2 возникнет, если первый риск произойдет и

существует 100-процентная вероятность возникновения риска 3 в случае реализации второго риска.

В данном случае, R_2 и R_3 , их возникновение стало обуславливаться рисками со стороны внутренней системы, поэтому необходимо модифицировать начальную вероятность каждого из них при наличии новых добавленных условий. Обе они могут быть рассчитаны по закону полной вероятности по уравнению:

$$P(A) = P(B_1)P(A|B_1) + P(B_2)P(A|B_2) + \dots + P(B_n)P(A|B_n), \quad (7)$$

$P(R_2) = 0,7 * 0,3 + 0,3 * 1 = 0,51$, тогда средняя задержка, вызванная R_2 , будет равна 1.02 день, а $P(R_3) = 0,51 * 1 + 0,49 * 0,3 = 0,657$, тогда средняя задержка, вызванная R_3 будет равна 1.971 дней. Средняя задержка выполнения работы может быть рассчитана по формуле (1) и будет равна 3.291 дней, и тогда T_{ris} по формуле будет равно 15.291 дней.

Пример показывает различие в расчете задержек при учете взаимосвязи между рисками с точки зрения их вероятности и при пренебрежении ими. При неучете взаимосвязи, T_{ris} составила 13,8 дней и приоритет внимания будет отдаваться третьему, второму, первому риску последовательно, а при учете взаимосвязи между рисками с точки зрения вероятности T_{ris} больше, и важность борьбы с первым риском является приоритетным, потому что он является источником (генератором) для второго и третьего риска.

Тем не менее, в приведённых нами примерах для простоты мы отдельно показали и обосновали влияние конкурирующего явления, с точки зрения вероятности, и конкурирующего явления, с точки зрения воздействия.

При включении временного горизонта рисков, с учетом явления конкуренции, с двумя его перспективами при оценке рисков, это обеспечит более последовательный расчет ожидаемой задержки, вдали от предвзятости чрезмерного оптимизма или чрезмерного пессимизма.

С помощью предложенного нами математического аппарата, можно рассчитать совокупный риск (задержку, вызванную рисками) при определенной работе.

По нашему мнению, реализация такого подхода предоставит возможность для более адекватного расчета продолжительности работы с учетом рисков в проекте и позволит руководителям проектов принять более эффективное решение для рисков при планировании и реализации строительного проекта.

Следует отметить универсальность предложенного нами алгоритма и возможность его интеграции с существующими методами количественного анализа рисков.

Предложенная методика может быть эффективно применена для оценки продолжительности работ в условиях воздействия рисков, являясь предшествующей стадией использования метода PERT и расчета параметров завершения проекта. Кроме того, данный подход может быть успешно интегрирован с методом Монте-Карло.

Например, перед применением метода Монте-Карло, можно учесть взаимосвязь между различными рисками и распределить их на отдельные этапы работ, а не на весь проект в целом, учитывая возможное время возникновения рисков в процессе выполнения конкретных строительных монтажных работ.

Литература

1. Рудской А.И., Боровков А.И., Романов П.И., Колосова О.В. Пути снижения рисков при построении в России цифровой экономики. Образовательный аспект // Высшее образование в России. 2019. № 2. С. 9–22. DOI: 10.31992/0869-3617-2019-28-2-9-22

2. Манцорова Т.Ф., Тымуль Е.И. Риски в энергетике: Причины, факторы, сценарий управления // Экономика энергетики и энергосбережение. СПб.: СПбПУ, 2018. С. 139–142.

3. Каптюшина, А.Г., Казинаускас М.А. Организационно-технологические решения при оперативно-календарном планировании строительства монолитного здания // Жилищное строительство. 2018. № 10. С. 44-48.
 4. Хурейни Надим К.Р. Совершенствование методов анализа, оценки и планирования рисков в строительных проектах // Вестник Гражданских Инженеров. 2022. № 6 (95). С. 75–82.
 5. Рудых, Д.В. Управление Проектными Рисками // Менеджмент, маркетинг, финансы: сборник научных статей. Москва.: МИРБИС, 2014. С. 70–83.
 6. A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Project management institute, PMI. Sixth edition. 2017. 756 p.
 7. Кузьмина С.Н., Леонова Т.И., Тимшина Д.К. Риск-Ориентированная Модель Управления Проектами В Организации // Петербургский Экономический Журнал. 2021. № 4. С. 137–148.
 8. Габриелян М. О., Третьяков О. Б. Классификация рисков в инвестиционно-строительной деятельности // Вестник университета. 2016. № 5. С. 60–67.
 9. Бовтеев С.В., Хурейни Надим К. Р. Классификации и параметры рисков строительных проектов // Вестник Гражданских Инженеров. 2021. № 6 (89). С. 79–86.
 10. Шелайкина А. Н. Методический инструментарий количественной оценки степени риска инвестиционно-строительных проектов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. № 8. С. 200–208.
 11. Koulinas G.K. et al. Schedule Delay Risk Analysis in Construction Projects with a Simulation-Based Expert System: 8 // Buildings. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 10, № 8. P. 134.
-

12. Gupta V.K., Thakkar J.J. A quantitative risk assessment methodology for construction project // *Sādhanā*. 2018. Vol. 43, № 7. P. 116.

13. Михайлович М.В., Павел К. Метод управления рисками невыполнения в срок проектов создания крупных энергетических объектов: 1 // *π-Economy*. Россия, Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. Vol. 14, № 1. P. 109–121.

14. Уразова Н. Г., Мартынюк А. В. Управление Рисками На Основе Моделирования Продолжительности Реализации Проекта // *Вестник Иркутского Государственного Технического Университета*. 2014. № 8 (91).

15. Болотин С.А., Мальсагов А.Р. К вопросу формирования пессимистических графиков строительства // *Недвижимость: Экономика, Управление*. 2020. № 2. С. 49–54.

16. Болотин С. А., Дадар А.Х. Методика расчета задержки строительства на основе оценки энтропии актуального графика работ // *Недвижимость: Экономика, Управление*. 2019. № 1. С. 77-82

17. Abbasnezhad, K., Ansari R., MahdikhaniM. Schedule risk assessments using a precedence network: an object-oriented Bayesian approach//*Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 2018. pp.1-17.

18. Величкин В.З. Управление и надежность реализации строительных программ // *Инженерно-Строительный Журнал*. 2014. № 7 (51). С. 74–79.

19. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // *World Applied Sciences Journal*, 2013. pp.1-4.

References

1. Rudskoy A. I., Borovkov A.I., Romanov P.I., Kolosova O.V. *Vysshee obrazovanie v Rossii*. 2019. № 2. pp.9–22



2. Mantserova T.F., Tymul' E.I. *Ekonomika energetiki i energosberezhenie*. SPb.: SPbPU, 2018. pp.139–142.
3. Kaptyushina, A.G., Kazinauskas M. A. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2018. № 10. pp.44-48.
4. Khureyni Nadim K. R. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2022. № 6 (95). pp.75–82.
5. Rudykh, D. V. *Menedzhment, marketing, finansy: sbornik nauchnykh statey*. Moskva.: MIRBIS, 2014. pp.70–83.
6. *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*. Project management institute, PMI. Sixth edition. 2017. 756 p.
7. Kuz'mina S.N., Leonova T.I., Timshina D.K. *Peterburgskiy Ekonomicheskiy Zhurnal*. 2021. № 4. pp. 137–148.
8. Gabrielyan M. O., Tret'yakov O. B. *Vestnik universiteta*. 2016. № 5. pp. 60–67.
9. Bovteev S.V., Khureyni Nadim K. R. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2021. № 6 (89). pp. 79–86.
10. Shelaykina A. N. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. 2016. № 8. pp. 200–208.*
11. Koulinas G.K. *Buildings*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020. Vol. 10, № 8. pp.134.
12. Gupta V.K., Thakkar J.J. *Sādhanā*. 2018. Vol. 43, № 7. pp. 116.
13. Mikhaylovich M.V., Pavel K. *π-Economy*. Rossiya, Sankt-Peterburg: Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskiy politekhnicheskiy universitet Petra Velikogo», 2021. Vol. 14, № 1. pp. 109–121.
14. Urazova N. G., Martynyuk A. V. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2014. № 8 (91).



15. Bolotin S.A., Mal'sagov A. R. Nedvizhimost': Ekonomika, Upravlenie. 2020. № 2. pp. 49–54.
16. Bolotin S. A., Dadar A. Kh. Nedvizhimost': Ekonomika, Upravlenie. 2019. № 1. pp.77-82.
17. Abbasnezhad, K., Ansari R., Mahdikhani M. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 2018. pp.1-17.
18. Velichkin V. ZInzhenerno-Stroitel'nyy Zhurnal. 2014. № 7 (51). pp. 74–79.
19. Bolotin S., Birjukov A. World Applied Sciences Journal, 2013. pp.1-4.