

УДК 338:69:005.511:332.142

© Х. В. Биче-оол, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия; Тувинский
государственный университет, Кызыл, Россия)
E-mail: ms.khenzig@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2023-20-2-56-64

© Kh. V. Biche-ool, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia;
Tuvan State University, Kyzyl, Russia)
E-mail: ms.khenzig@mail.ru

РАСЧЕТ ЗАДЕРЖКИ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПЕССИМИСТИЧЕСКОГО РАСПИСАНИЯ РАБОТ В ПРОЕКТЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

CALCULATION OF CONSTRUCTION DELAYS IN THE FORMATION OF A PESSIMISTIC SCHEDULE OF WORK IN THE PROJECT OF INTEGRATED TERRITORY DEVELOPMENT

В настоящем исследовании представлен расчет пессимистической задержки строительства при комплексном освоении территории, основанный на установлении формализованной связи с пессимистическим значением дисконтной ставки. По рассчитанному значению пессимистической задержки можно рассчитать задержки всех промежуточных работ на основе применения метода линейной интерполяции.

Ключевые слова: пессимистическое расписание работ, вероятностное календарное планирование, задержка строительства, комплексное освоение территории, горизонт планирования.

This study presents a calculation of the pessimistic delay in construction during complex development of the territory, based on the establishment of a formalized connection with the pessimistic value of the discount rate. According to the calculated value of the pessimistic delay, it is possible to calculate the delays of all intermediate works based on the use of the linear interpolation method.

Keywords: pessimistic work schedule, probabilistic calendar planning, construction delay, complex development of the territory, planning horizon.

Введение

Из множества инвестиционных строительных проектов можно выделить проекты, связанные с комплексным освоением территории, предусмотренные законодательством о градостроительной деятельности (ст. 53 № 190-ФЗ¹). В состав объектов, входящих в комплекс, могут включаться совершенно разные по своему конечному функционалу здания. В восьмидесятих годах прошлого

века для совершенствования жилищного строительства в СССР были разработаны методические указания по планированию градостроительных комплексов². Для проектирования расписаний работ при комплексном освоении территорий разработаны различные алгоритмы расчета детерминированных расписаний работ, которые базируются на разных расчетных принципах³ [1].

¹ Градостроительный кодекс РФ от 29 декабря 2004 года № 190-ФЗ. URL: <http://docs.cntd.ru/document/901919338> (дата обращения: 18.04.2023).

² Рекомендации по планированию и организации жилищно-гражданского строительства при застройке городов градостроительными комплексами. М.: Стройиздат, 1988. 125 с.

³ Там же.

Однако усложнение современного строительства и возникновение связанных с этим рисков требуют перевода детерминированных графиков работ к соответствующим вероятностным расписаниям. На основе вероятностного календарного планирования для каждого календарного плана может быть сформировано множество решений. Для проектирования оптимистичных, пессимистичных и наиболее вероятных календарных планов строительства разработана модель для вероятностного прогнозирования будущих производственных рисков, влияющих на задержку завершения строительства [2].

В календарном планировании строительного производства широкое распространение получили программы управления проектами, ориентированные на учет случайного характера выполняемых работ. Так, например, в программе *Primavera* имеется инструментарий, направленный на анализ рисков, определяющих задержку сроков выполнения работ. Анализ отклонений сроков реализации отдельных задач и проекта в целом осуществляется методом *PERT*⁴. Встроенный в программу *Primavera* модуль *Primavera Risk Analysis* позволяет с высокой вероятностью определить, будет ли проект успешно реализован [3].

В программе *Microsoft Project* инструментом для формирования различных сценариев планирования строительства тоже служит метод *PERT* [4], который в настоящее время вместе с методом статистических испытаний является основным методом вероятностного календарного планирования. Поэтому любой принятый вариант расписания по комплексному освоению территории может и должен быть представлен в виде пессимистического, оптимистического и наиболее вероятного сценариев. В основу метода *PERT*, как это реализовано в программе *Microsoft Project* [5], положено

использование бета-распределения и формирование трех соответствующих расписаний работ. Для практической реализации моделирования вероятностных расписаний работ с помощью данного метода для каждой работы требуется информация об оптимистической a , наиболее вероятной c и пессимистической b продолжительностях. При этом оптимистическая продолжительность может интерпретироваться как плановая продолжительность, а пессимистическая — как максимально неблагоприятная. Считается, что все три характеристики случайной продолжительности работ определяются разработчиком графика [6].

При рассмотрении информационной основы этих параметров могут быть предложены следующие их характеристики. В работе [7] для определения оптимистических продолжительностей работ тоже предложено использовать их плановые значения, и пессимистическая продолжительность так же может интерпретироваться как максимально неблагоприятная. Что касается наиболее вероятной продолжительности, то в общем случае она определяется модой соответствующей дифференциальной кривой распределения. При этом для симметричных распределений мода определяется как средняя величина соответствующих оптимистических и пессимистических значений. Для ряда асимметричных распределений мода вообще может отсутствовать, и поэтому отсутствие информации о наиболее вероятной величине, на наш взгляд, вообще не критично. Тем более что если рассчитывается общая задержка проекта на основе метода статистических испытаний, то в этом случае существенным параметром является дисперсия, а не мода распределения. Таким образом, для вероятностного календарного планирования строительства при комплексном освоении территории наиболее существенным параметром является пессими-

⁴ URL: <https://www.oracle.com/ru/applications/primavera/solutions/products.html>.

стическая продолжительность выполнения отдельных работ.

В программе *Microsoft Project (MP)* расчет математического ожидания продолжительности работы t для трехпараметрического бета-распределения осуществляется по следующей формуле:

$$t = \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2 + w_3 t_3}{6}, \quad (1)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 6,$$

где w_1 , w_2 и w_3 — это весовые множители, сумма которых в программе *MP* считается равной 6.

При вычислении длительности работ на основе трех ее оценок *MP* учитывает степень влияния каждой из оценок. По умолчанию значения этих весов заданы равными $w_1 = 1$, $w_2 = 4$ и $w_3 = 1$, что соответствует исходному бета-распределению. Веса распределены следующим образом: оптимистическая и пессимистическая оценки имеют по 1 баллу, наиболее вероятная оценка — 4 балла. По желанию можно изменить соотношение весов, однако их сумма должна равняться 6.

Определение весовых множителей и различных значений продолжительностей для всех работ в программе *MP* осуществляется путем обработки статистических данных или методом экспертных оценок. Однако определение наиболее вероятной продолжительности выполнения работы (моды распределения) как с помощью статистики, так и на основе различных методов экспертных оценок представляет определенную методическую сложность. Другой минус использования бета-распределения — оно не учитывает качество управления [8].

Фактически же, варьируя весовые коэффициенты, можно рассчитать среднюю продолжительность для различных видов распределения, и это плюс данной программы. Например, принимая $w_1 = 3$, $w_2 = 0$ и $w_3 = 3$, по формуле (1) можно рассчитать среднюю продолжительность, соответствующую равномерному распределению. Данное распре-

деление имеет следующие положительные особенности. Во-первых, оно обеспечено соответствующим генератором случайных чисел, который используется практически во всех компьютерных программах, связанных с математическими расчетами. Во-вторых, равномерное распределение обладает наибольшей энтропией [9], и таким образом его применение ориентирует расчет на получение результатов с наибольшей погрешностью, то есть на результат, наиболее полно учитывающий риск несвоевременного выполнения работ.

Представленный обзор показывает, что в практике вероятностного календарного планирования имеется достаточно универсальный программный инструментарий. Поэтому для достижения цели построения пессимистического расписания работ требуется разработка методики, в которой будут рассчитаны соответствующие пессимистические параметры календарного графика, что особенно важно при проектировании расписания строительства при комплексном освоении территории.

Методы

Рассмотрим некоторые варианты получения параметров пессимистических оценок календарного плана.

- *Вариант, основанный на определении горизонта планирования.* Определение горизонта планирования осуществляется на основе модели пространственно-временной аналогии (ПВА), которая описана в работах [10–12]. Основной акцент в данных работах сделан на определении горизонта планирования, под которым понимается время от начала инвестиций в проект до момента полной неопределенности в его временных характеристиках. Модель ПВА базируется на использовании аналогии пространственного горизонта, в точках которого линейные размеры всех предметов становятся нулевыми. Эта модель предполагает, что коэффициент

уменьшения линейных значений предметов изменяется от 1 до 0.

Принятая в работах [10–12] аналогия позволяет предположить, что продолжительности работ могут быть более-менее точно определены в начале инвестиционного периода, а по мере продвижения по шкале времени на первоначальные значения накладываются различные неопределенности, вызывающие задержку выполнения работ. Далее, приняв во внимание то, что максимальное запаздывание приходится на значение горизонта планирования, а минимальное (равное нулю) запаздывание соответствует началу строительства, запаздывание всех работ данного диапазона считается пропорциональным средним срокам выполнения работ.

Однако при формировании расписания проекта горизонт планирования может задаваться директивно, и его значение не обязательно соответствует максимальной неопределенности. Например, оно может быть определено исходя из соображения продажи готового проекта. Таким образом, недостатком рассмотренного варианта является некоторая противоречивость понятия горизонта планирования.

- *Вариант, основанный на определении отношения дисконтированного к простому периодов окупаемости проекта.* Другой подход в определении задержки выполнения работ базируется на использовании основополагающих положений в методике оценки экономической эффективности инвестиционных проектов [16]. Одно из этих положений сводится к констатации факта уменьшения стоимости денег во времени, которое в конечном счете определяется через дисконтирующий коэффициент

$$k = (1 + E)^{-t}, \quad (2)$$

где E — ставка дисконтирования, принимаемая при оценке экономической эффективности инвестиционных проектов.

Одним из следствий теоретических основ данной методики является и то, что привлечение капитала в инвестиционный проект требует дополнительных затрат. Данное следствие подтверждается тем, что разница между дисконтированным периодом окупаемости проекта (DPB) и простым (PB) всегда положительная величина.

Для любой схемы финансирования, связанной с комплексным освоением территории, в каждый планируемый к строительству объект сначала осуществляют инвестиции, и только потом происходит его передача с баланса на баланс, которая в обобщенном виде может считаться продажей объекта. Важным здесь является то, что инвестиционные затраты приводятся к началу строительства с большим дисконтирующим множителем, а вот стоимость продажи всего комплекса — с меньшим множителем. В результате возникает дивергенция между дисконтированным и простым периодами окупаемости проекта. В итоге, при обычном порядке следования инвестиционного и операционного периодов в жизненном цикле проекта отношение дисконтированного к простому периоду окупаемости (ID) всегда будет больше единицы:

$$ID = \frac{DPB}{PB} > 1. \quad (3)$$

Поэтому с точки зрения получения конечного результата проекта, определяемого чистым дисконтированным доходом, отношение дисконтированного к простому периоду окупаемости может служить относительной мерой несвоевременности выполнения работ. При этом пессимистическое окончание строительства комплекса объектов будет снижать чистый дисконтированный доход до определенного минимума.

Если рассмотреть модель расчета пессимистических продолжительностей работ на примере простого календарного плана строительства жилого здания, состоящего из подготовительных и подземных работ, цикла надземных работ и комплекса

внутренних работ, то можно использовать нормы продолжительности строительства СНиП 1.04.03–85⁵ в совокупности с укрупненными нормативами цен строительства НЦС 81-02–2020⁶, и по ним можно воссоздать инвестиционный денежный поток. Возвратный денежный поток, связанный с построенным зданием, может быть определен либо графиком продаж и ценой реализации единицы площади, либо ценой аренды площади здания. В результате имеются все данные для расчета максимального значения индекса ID .

Если же данная информация отсутствует, то тогда необходимо дополнительно задать дисконтированный период окупаемости DPB и по нему рассчитать такой аннуитет предполагаемых доходов, который соответствовал бы заданному дисконтированному периоду окупаемости. Его расчет может быть произведен согласно следующему уравнению:

$$\sum_{i=1}^T \frac{c_i}{(1+E)^i} = A(1+E)^{T/12} \frac{1-(1+E)^{T/12-DPB}}{E}, \quad (4)$$

где c_i — распределение инвестиций по месяцам; T — общая продолжительность строительства, также определенная в месяцах; A — значение аннуитета.

Левая часть уравнения (4) представляет собой суммарные инвестиции, дисконтированные к началу строительства и рассчитанные исходя из учета обеспечения вложений в конце месяца. Правая часть уравнения (4) представляет собой значение дисконтированного аннуитета, продолжительность которого определяется разностью периода дисконтированной окупаемости и общей продолжительности строительства. Решая уравнение (4), можно получить формулу расчета такого аннуитета, который обеспечил бы дисконтированный период окупаемости при учете заданной ставки дисконтирования:

$$A = \frac{E(1+E)^{T/12}}{1-(1+E)^{T/12-DPB}} \sum_{i=1}^T \frac{c_i}{(1+E)^i}. \quad (5)$$

Далее по рассчитанному аннуитету можно определить значение простого периода окупаемости по формуле

$$PB = T/12 + \frac{\sum_{i=1}^T c_i}{\sum_{i=1}^T \frac{c_i}{(1+E)^i}} \frac{1-(1+E)^{T/12-DPB}}{E(1+E)^{T/12}}. \quad (6)$$

Следует обратить внимание на то, что входящее в формулу (6) распределение капитальных вложений во времени может быть выражено как в абсолютных, так и в относительных показателях, представленных в СНиП 1.04.03–85 (с. 7). Далее, в соответствии с определенным ранее значением периода окупаемости можно рассчитать их отношение и принять его в качестве предельного индекса задержки выполнения работ ID .

Для определения пессимистического значения текущего индекса задержки можно использовать линейную зависимость, и тогда пессимистическое значение текущего индекса задержки будет рассчитываться пропорционально сроку начала работы, отсчитываемому от момента начала строительства:

$$ID^{pes} = 1 + \frac{ID}{PB} t^{start}. \quad (7)$$

При такой оценке предельной относительной задержки выполнения работ календарного плана строительства, безусловно, положительным является то, что она полностью гармонизирует с критериями оценки эффективности инвестиционных строительных проектов. Основной же недостаток данного варианта сводится к тому, что для расчета предельного индекса задержки строительства необходимо иметь данные о дисконтированном периоде окупаемости, который не может быть рассчитан без информации по графику продаж недвижимых объектов, входящих в градостроительный комплекс.

Результаты

Следует отметить, что сформированное далее предложение расширяет возможности

⁵ СНиП 1.04.03–85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений.

⁶ НЦС 81-02–2020. Государственные сметные нормативы. Укрупненные нормативы цены строительства.

изложенных выше решений. Действительно, если задается горизонт планирования, соответствующий максимальной задержке всего строительства, то предложение по линейной интерполяции задержек вполне актуально и никаких дополнительных нововведений не требуется. Тот же вывод актуален и для второго варианта, когда имеется достаточная информация для расчета дисконтированного и простого периодов окупаемости. Поэтому предлагаемая нами методика построена на принципе, когда необходимая для рассмотренных вариантов информация отсутствует и не позволяет рассчитать пессимистические продолжительности расписания работ.

В результате предлагаемое нами решение дополняется следующим предложением. В случае, если информация по возвратному денежному потоку отсутствует, для его имитации можно воспользоваться методикой, изложенной в работе [13]. Имитация заключается в расчете так называемой минимальной стоимости виртуальной продажи (МСВП) объекта — такой стоимости продажи объекта, при которой обеспечивается заданная дисконтная ставка. Согласно работе [13] МСВП рассчитывается как

$$VS = \sum_t c_t (1+E)^{T-t}, \quad (8)$$

где c_t — значения равномерных удельных затрат, определяющих дифференциальный денежный поток; t — время окончания каждого равномерного участка дифференциально определенного денежного потока.

Как было отмечено ранее, экономическая эффективность инвестиционных проектов связана с определением ставки дисконтирования E , при этом, как правило, дисконтная ставка зависит от трех составляющих: безрисковой ставки E_k , премии за риск R и темпа инфляции I . В различных работах, например в работе [14], отмечается, что дисконтная ставка в основном коррелирует с этими составляющими. Поэтому для ее определения наиболее целесообразно использовать ку-

мулятивный метод расчета, в котором ставка дисконтирования определяются суммой этих составляющих [15]:

$$E_1 = E_k + R + I. \quad (9)$$

Премия за риск вложения средств в проект определяет его доходность при соответствующем учете темпа инфляции. Безрисковая ставка может трактоваться по-разному. Она может быть определена некоторым альтернативным доходом, связанным с вложениями в депозиты, облигации и др., но может быть связана и с заемными средствами, процент по которым подлежит возврату. Очевидно, что для заказчика проекта оптимальной является ситуация, при которой, пускай в минимальной степени, получается неотрицательный процент дохода на вкладываемый капитал, рассчитанный по формуле (9). Одним из пессимистичных вариантов может служить вариант, когда доход от проекта сравнивается со значением безрисковой ставки, так как этот процент должен соответствовать оплате заемных средств. Другим вариантом пессимистичной ставки может быть утрата альтернативного дохода при реализации проекта. В результате пессимистическая дисконтная ставка E_2 может быть определена следующим выражением:

$$E_2 = E_k \text{ или } E_2 = 0. \quad (10)$$

При задержке проекта на величину D соответственно задерживается его оплата. Следовательно, дисконтированная стоимость продажи проекта, отнесенная к плановому сроку продажи, будет меньше, и это относительное уменьшение определяется формулой (2), в которой значению времени t будет соответствовать значение времени задержки D . Уменьшенному значению дисконтированной продажи будет соответствовать уменьшенное значение дисконтной ставки. Для поточной организации строительства комплекса ниже представлена формула расчета значения пессимистического запаздывания D (мес.) в зависимости от опти-

мистической дисконтной ставки E_1 и от пессимистической дисконтной ставки E_2 :

$$D = 12 \frac{\ln \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} (1+E_1)^{T-t_{ij}} \right] - \ln \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} (1+E_2)^{T-t_{ij}} \right]}{\ln(1+E_1)}, \quad (11)$$

где T — планируемая продолжительность строительства комплекса; i, j — индексы этапов работ, выполняемых на зданиях; M, N — общее число этапов работ и общее число зданий комплекса; c_{ij}, t_{ij} — стоимости отдельных работ и сроки их завершения.

Представим практический пример расчета календарного плана комплексного освоения территории, содержащего строительство четырех жилых зданий, каждое из которых включает четыре этапа работ. Представленные в таблице исходные данные взяты из СНиП 1.04.03–85 (с. 7), стоимости этапов работ определены согласно нормативным ценам строительства НЦС 81-02–2020, а сформированное расписание работ рассчитано по методу критического пути при ранних сроках свершения событий.

Каждый элемент таблицы определяет четыре характеристики. В верхних частях отображены продолжительности этапов в месяцах и их стоимости в млн руб. В нижних частях всех элементов представлены сроки выполнения работ: начала и окончания в ме-

сяцах. Согласно проведенному расчету планируемая продолжительность строительства комплекса составила 29 месяцев.

На основе представленных данных при $E_1 = 30\%$ годовых и $E_2 = 10\%$ годовых пессимистическая задержка окончания строительства комплекса составила 8,26 месяца, а при $E_1 = 30\%$ годовых и $E_2 = 0\%$ годовых пессимистическая задержка окончания строительства комплекса составила 12,71 месяца. Но если задаться величиной задержки большей, чем 12,71 месяца, то это приведет к отрицательному значению дисконтной ставки. Например, для задержки окончания строительства на 15 месяцев дисконтная ставка составит -5% . Поэтому, на наш взгляд, естественной границей пессимистического значения дисконтной ставки является ее нулевая величина, для которой пессимистическая задержка составляет 13 месяцев.

Вывод

На основании проведенного исследования можно сделать вывод об актуальности представленной методики расчета пессимистической задержки строительства при комплексном освоении территории, основанной на установлении формализованной связи с пессимистическим значением дисконтной ставки. По рассчитанному значению пессимистической задержки можно рассчитать задержки всех промежуточных работ на основе применения метода линейной интерполяции.

Характеристики зданий застраиваемого комплекса

Очередь зданий	Этапы работ							
	Подготовит. работы		Подземные работы		Надземные работы		Внутренние работы	
1-е здание	1	26	2	19	8	359	2	131
	0	1	1	3	3	11	11	13
2-е здание	1	14	1	23	4,5	101	1,5	18
	1	2	3	4	11	15,5	15,5	17
3-е здание	1	19	1	12	5,5	234	2	47
	2	3	4	5	15,5	21	21	23
4-е здание	1	23	1,5	24	6	241	2	112
	3	4	5	6,5	21	27	27	29

Библиографический список

1. Челнокова В. М. Особенности календарного планирования комплексного освоения территории девелопментской организацией // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 136–141.
2. Bolotin S., Dadar A. K., Biche-Ool Kh., Malsagov A. Generating a probabilistic construction schedule // *Architecture and Engineering*. 2020. Vol. 5. No. 4. Pp. 44–50.
3. Грахов В. П., Кислякова Ю. Г., Симакова У. Ф., Мушаков Д. А. Развитие системы контроля за ходом строительно-монтажных работ на основе комплексного применения программных продуктов Primavera P6 Professional R8.3.2 и ArchiCAD 17.0.0 // Наука и техника. 2017. № 6. С. 466–474.
4. Голенко-Гинзбург Д. И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками. Воронеж: Научная книга, 2010. 284 с.
5. Куперштейн В. И. Microsoft Project 2010 в управлении проектами. М.: ООО «ЛитРес», 2010. 416 с.
6. Болотин С. А., Дадар А. Х., Мальсагов А. Р. Анализ современных методов прогноза продолжительности строительства // Недвижимость: экономика, управление. 2018. № 4. С. 79–83.
7. Болотин С. А., Дадар А. Х., Магамадов Р. А. Энтропия актуального графика строительства // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 123–129.
8. Брайла Н. В., Лазарев Ю. Г., Романович М. А., Симанкина Т. Л., Улыбин А. В. Современные проблемы строительной науки, техники и технологии. СПб.: СПбПУ Петра Великого, 2017. 141 с.
9. Куликовский Л. Ф., Мотов В. В. Теоретические основы информационных процессов. М.: Высшая школа, 1987. 248 с.
10. Bolotin S., Dadar A., Ptuhina I. Construction work tasks duration: Pessimistic scenarios based on PERT method // *Advanced Materials Research*. 2014. Vol. 945–949. Pp. 3026–3031.
11. Болотин С. А., Дадар А. Х., Иванов К. В., Курасова Д. Т. Модель планирования риска несвоевременного выполнения работ в ПОС на основе пространственно-временной аналогии // Вестник гражданских инженеров. 2013. № 6 (41). С. 69–74.
12. Болотин С. А., Дадар А. Х., Котовская М. А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7 (42). С. 51–57.
13. Болотин С. А. Оценка строительства социальных объектов по минимальной стоимости виртуальной продажи // Оценочные технологии в экономических процессах. СПб.: Инжэкон, 2002. С. 148–151.

14. Манагаров Р. Обзор методов расчета ставки дисконтирования // Финансовый менеджмент. 2010. № 8.

15. Демшин В. В. Практические аспекты расчета ставки дисконта (метод кумулятивного построения) в процессе оценки бизнеса // Вопросы оценки. 1999. № 2. С. 34–37.

16. Коссов В. В., Лившиц В. Н., Шахназаров А. Г. и др. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). М.: Экономика, 2000. 421 с.

References

1. Chelnokova V. M. *Osobennosti kalendarnogo planirovaniya kompleksnogo osvoeniya territorii developmentskoy organizatsiy* [Features of calendar scheduling of complex development of the territory by the development organization]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 136–141.
2. Bolotin S., Dadar A. K., Biche-Ool Kh., Malsagov A. Generating a probabilistic construction schedule. *Architecture and Engineering*, 2020, vol. 5, no. 4, pp. 44–50.
3. Grakhov V. P., Kislyakova Yu. G., Simakova U. F., Mushakov D. A. *Razvitie sistemy kontrolya za khodom stroitel'no-montazhnykh rabot na osnove kompleksnogo primeneniya programmykh produktov Primavera P6 Professional R8.3.2 i ArchiCAD 17.0.0* [Development of control system for construction and installation works on the basis of integrated application of Primavera P6 Professional R8.3.2 and ArchiCAD 17.0.0 software products]. *Nauka i tekhnika – Science and Technology*, 2017, no. 6, pp. 466–474.
4. Golenko-Ginzburg D. I. *Stokhasticheskie setevye modeli planirovaniya i upravleniya razrabotkami* [Stochastic network models of development planning and management]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publ., 2010, 284 p.
5. Kupershteyn V. I. *Microsoft Project 2010 v upravlenii projektami* [Microsoft Project 2010 in project management]. Moscow, LitRes Publ., 2010, 416 p.
6. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Mal'sagov A. R. *Analiz sovremennykh metodov prognoza prodolzhitel'nosti stroitel'stva* [Analysis of the currently used methods of forecasting the duration of construction]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie – Real Estate: Economy, Management*, 2018, no. 4, pp. 79–83.
7. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Magamadov R. A. *Entropiya aktual'nogo grafika stroitel'stva* [Entropy of the actual construction schedule]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 123–129.
8. Brayla N. V., Lazarev Yu. G., Romanovich M. A., Simankina T. L., Ulybin A. V. *Sovremennye problemy*

stroitel'noy nauki, tekhniki i tekhnologii [Modern problems of building science, engineering and technology]. St. Petersburg, SPbPU Petra Velikogo Publ., 2017, 141 p.

9. Kulikovskiy L. F., Motov V. V. *Teoreticheskie osnovy informatsionnykh protsessov* [Theoretical bases of information processes]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1987, 248 p.

10. Bolotin S., Dadar A., Ptuhina I. Construction work tasks duration: Pessimistic scenarios based on PERT method. *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 945–949, pp. 3026–3031.

11. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Ivanov K. V., Kurasova D. T. *Model' planirovaniya riska nesvoevremennogo vypolneniya rabot v POS na osnove prostranstvenno-vremennoy analogii* [The model for planning the risk of delayed execution of works in the construction management plan (CMP) based on space-time analogy]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2013, no. 6 (41), pp. 69–74.

12. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Kotovskaya M. A. *Model' prostranstvenno-vremennoy analogii v optimizatsii posledovatel'nosti rekonstruirovemykh ob'ektov* [Space-time analogy model in the optimization of the sequence of reconstructed objects]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal –*

Engineering and Construction Journal, 2013, no. (42), pp. 51–57.

13. Bolotin S. A. *Otsenka stroitel'stva sotsial'nykh ob'ektov po minimal'noy stoimosti virtual'noy prodazhi* [Estimation of the construction of social objects by the minimum cost of the virtual sale]. *Otsenochnye tekhnologii v ekonomicheskikh protsessakh* [In: Estimation technologies in economic processes]. St. Petersburg, Inzhekon Publ., 2002, pp. 148–151.

14. Managarov R. *Obzor metodov rascheta stavki diskontirovaniya* [Review of calculation methods of discount rate]. *Finansoviy menedzhment – Financial Management*, 2010, no. 8.

15. Demshin V. V. *Prakticheskie aspekty rascheta stavki diskonta (metod kumulyativnogo postroeniya) v protsesse otsenki biznesa* [Practical aspects of calculating the discount rate (cumulative construction method) in business evaluation]. *Voprosy otsenki – Evaluation Issues*, 1999, no. 2, pp. 34–37.

16. Kossov V. V., et al. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh projektov* [Methodical recommendations for evaluating the effectiveness of investment projects]. 2-nd ed. Moscow, Ekonomika Publ., 2000, 421 p.