

Технология и организация строительства

УДК 69.003:658.012.22

© С. А. Болотин, д-р техн. наук, профессор

© Х. В. Биче-оол, аспирант

© Х. А. Бохан, аспирант

© Н. К. Р. Хурейни, аспирант

(Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет,

Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: sbolotin@mail.ru, ms.khenzig@mail.ru,

haitham_kh9@yahoo.com, nadimhuraini@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72

© S. A. Bolotin, Dr. Sci. Tech., Professor

© H. V. Biche-ool, post-graduate student

© Kh. A. Bohan, post-graduate student

© N. Q. R. Huraini, post-graduate student

(Saint Petersburg State University

of Architecture and Civil Engineering,

St. Petersburg, Russia)

E-mail: sbolotin@mail.ru, ms.khenzig@mail.ru,

haitham_kh9@yahoo.com, nadimhuraini@gmail.com

ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ЭНТРОПИЙНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ АКТУАЛЬНОГО ГРАФИКА СТРОИТЕЛЬСТВА

APPLIED ASPECTS OF THE ENTROPY INDICATOR OF THE CURRENT CONSTRUCTION SCHEDULE ASSESSMENT

Конечный результат процесса строительства — получение готового к эксплуатации объекта недвижимости. Однако планируемому ходу строительства препятствует несвоевременное выполнение отдельных работ из-за влияния множества негативных факторов, определяющих стохастический характер строительного производства. На основании строительного мониторинга можно определить расхождение временных характеристик фактических и планируемых продолжительностей работ на момент времени проведения мониторинга. В качестве оценки этого расхождения рассмотрена энтропийная характеристика актуального графика строительства, которая системно отражает состояние строительства. С помощью этой характеристики можно оценить состояние строительства как с позиции количественной оценки его информационной неопределенности, так и с позиции оценки качества управления строительным производством. Более того, если предположить, что энтропийный показатель сохранит свое численное значение до завершения строительства, то по этому значению можно спрогнозировать общую задержку окончания строительства. Рассмотрены наиболее важные прикладные функции энтропийного показателя оценки актуального графика строительства, выступающего в качестве обобщающего критерия, отражающего качество управления, включающего такие общие функции, как планирование, организацию и регулирование хода строительного производства.

Ключевые слова: календарное планирование строительства, управление проектами, энтропия актуального графика строительства, качество управления строительством, прогнозирование задержки строительства.

Construction is a process, the final result of which is creation of a real estate object ready for operation. However, the planned course of construction is hindered by the untimely execution of certain works. This is due to the influence of a sufficiently large number of negative factors that determine the stochastic nature of construction production. Based on construction monitoring, it is possible to determine the discrepancy between the time characteristics of the actual and the planned work duration at the time of monitoring. As an assessment of this discrepancy, the entropy feature of the current construction schedule is considered, which systematically reflects the state of construction. With the help of this characteristic we can assess the state of construction both from the position of quantitative assessment of its information uncertainty, and from the position of assessing the quality of construction management. Moreover, if we assume that the entropy index maintains its numerical value until the completion of construction, then by this value we can predict the total delay in the completion of construction. The article presents the most important applied functions of the entropy index for evaluating the current construction schedule, which acts as a generalizing criterion reflecting the quality of management, including such general functions as planning, organization and regulation of the course of construction production.

Keywords: construction scheduling, project management, entropy of the current construction schedule, quality of construction management, forecasting construction delays.

Введение

Строительство является процессом, конечный результат которого заключается в получении готового к эксплуатации объекта недвижимости. Существующая практика строительства показывает, что для правильной и эффективной организации строительного производства необходимо разработать целый комплекс организационно-технологической документации, который включает проекты организации строительства и производства работ, а также более детализированные документы, к которым относятся технологические карты. Однако и хорошо запланированному строительному процессу препятствует несвоевременное выполнение отдельных работ, что связано с влиянием достаточно большого числа негативных факторов, связанных со стохастическими параметрами строительного производства. Например, первоначальные модели календарного планирования строятся в предположении о вероятностном характере продолжительностей работ, что приводит к возникновению несвоевременности выполнения работ [1].

В современной научной литературе каждый фактор, препятствующий своевременному выполнению работ, принято связывать с различными рисками. Поэтому требуется постоянное совершенствование методов их оценки, позволяющее либо хеджировать риски, либо создавать различные искусственные резервы времени, примером которых может быть метод критической цепи [2]. Но, к сожалению, по мере усложнения организации, планирования и управления строительным производством перечень актуальных рисков неограниченно растет, что и определяет вероятностный характер состояния системы строительного производства [3]. Поэтому, на наш взгляд, требуется обобщающий показатель, который бы системно оценивал состояние строительства. В качестве такого обобщающего показателя может быть использована энтропийная оценка актуального графика строительства [4].

На основании результатов строительного мониторинга можно определить расхождение вре-

менных параметров фактических и планируемых характеристик строительства, системной оценкой которого может служить оценка энтропии актуального графика строительства. С помощью нее можно характеризовать состояние строительства как с точки зрения его информационной неопределенности, так и с точки зрения оценки состояния управления строительным производством. Более того, если предположить, что энтропийный показатель сохранит свое значение до завершения строительства, то по его численному значению можно прогнозировать общую задержку окончания строительства [5]. Поэтому в представленной статье рассмотрены наиболее важные прикладные функции энтропийного показателя оценки актуального графика строительства, выступающего в качестве обобщающей формы связи с качеством управления, включающим планирование, организацию и регулирование хода строительного производства.

Методы

Рассмотрим прикладное значение энтропийного показателя на примере, в котором в качестве планируемой продолжительности работы используется безрисковая составляющая, равная $T^pl = 8$ дн. Вместе с этим, для более адекватного планирования времени выполнения работы учтем четыре риска, которые потенциально могут привести к задержке ее выполнения. В качестве первого риска рассмотрим ситуацию, связанную с неопределенностью в классификации работы, которая зависит от способа отделки наружных стен (под штукатурку или с расшивкой швов на лицевом кирпиче) и категории сложности стен (глухие, с проемами, средней сложности с проемами, сложные с проемами). Если эти параметры работы неизвестны, то тогда на основании анализа производственных норм затрат труда для кладки стены в 1,5 кирпича¹ нужно ориентироваться на статистический ряд, показанный в таблице.

¹ Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы. Сборник ЕЗ. Каменные работы. 2018.

Статистический ряд возможных норм времени

Норма, чел.-ч/м ³	2,6	3,2	3,7	4,3	3,2	3,7	4,1	5,2
Среднее значение	3,75		С.К.О. 0,75		Вариация 20 %			

Обработка данных таблицы показала, что среднее значение нормы трудовых затрат равно 3,75 чел.-ч/м³, а соответствующий коэффициент вариации равен 20 %. Для формирования последующего примера допустим, что оценка риска задержки, связанная с неправильной идентификацией работы, составляет 1 день.

В качестве второго неблагоприятного события учтем риск возникновения таких погодных условий, при которых невозможно проведение работ, и эта задержка составляет 1 день. В качестве третьего рискованного события примем задержку поставки материалов, приводящую к задержке выполнения работ на 2 дня. В качестве четвертого риска рассмотрим ситуацию, связанную с потенциальной нетрудоспособностью строительного мастера. Если это произойдет, то при выполнении технологических операций временно может отсутствовать операционный контроль качества. В результате этого возможно возникновение некачественного выполнения работы, которое может привести к ее частичной переделке и задержке ее завершения на 4 дня. В результате, если априори известны значения вероятностей возникновения рисков, то средняя задержка выполнения работы может быть рассчитана по формуле

$$D = p_1 d_1 + p_2 d_2 + p_3 d_3 + p_4 d_4, \quad (1)$$

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

По формуле (1) можно рассчитать параметры, необходимые при реализации метода PERT [6]. Например, оптимистическую задержку можно рассчитать, если все вероятности принять равными нулю. Пессимистическую задержку можно рассчитать, если все вероятности принять равными единице, а наиболее вероятную задержку — если использовать усредненные вероятности. В случае, когда имеются данные по функциям распределения вероятностей задержек [7], для расчета показателей проекта можно применить метод статистических испытаний.

Очень часто необходимая информация по вероятностным характеристикам работ отсутствует, а задержка в выполнении работы может быть определена только как фактическая величина. Тогда факт отклонения от плана можно

оценить с помощью расчета энтропии, которая апостериори покажет информационную неопределенность, созданную ранее, то есть в процессе планирования и управления строительным производством. Допустим, что фактическая продолжительность работы составила $T^{act} = 16$ дней. Тогда информационная энтропия, показывающая расхождение между планируемой и фактической продолжительностями, будет определена следующим выражением

$$S = \log_2 \frac{T^{act}}{T^{pl}} = \frac{\ln(16/8)}{\ln 2} = 1 \text{ бит}. \quad (2)$$

Данные представленного выше примера показывают, что фактическая продолжительность в два раза превысила планируемое значение, и это указывает на то, что реализовались все риски, то есть при планировании не было никакого предвидения.

Далее рассмотрим ситуацию, когда в результате управленческого предвидения вероятность возникновения риска может быть уменьшена до нуля. Например, если затратить определенные средства на обучение рабочих методам контроля качества работ, то тогда связанную с переделкой работ задержку можно свести к нулю. В этом случае можно ожидать, что фактическая продолжительность работы уменьшится на 4 дня, а соответствующий энтропийный показатель уменьшится более чем на 40 %:

$$S = \frac{\ln(12/8)}{\ln 2} = 0,585 \text{ бит}. \quad (3)$$

Таким образом, можно утверждать, что если в процессе планирования, организации или оперативного управления вероятность возникновения части рисков можно свести к нулю, то этот процесс соответствует принятому в практике управления строительством хеджированию рисков [8].

Одним из практически важных прогнозируемых параметров является рекомендация по определению такого управляющего воздействия, которое в будущем существенно уменьшило бы возникновение несвоевременности строительства. Так, например, в работе [9] в качестве регулирующего процесса предложена методика оптимизационного перераспределения затрат на оперативное управление с целью обеспечения своевременности выполнения работ. Если

же при планировании предвидеть задержку, связанную с поставкой материалов, то на величину этой задержки можно увеличить плановую продолжительность, и тогда значение энтропии уменьшится до следующей величины:

$$S = \frac{\ln(12/10)}{\ln 2} = 0,263 \text{ бит.} \quad (4)$$

Этот пример показал, что часть рисков, вероятность возникновения которых стремится к единице, может быть отнесена к увеличению планируемой продолжительности. Действительно, если риск задержки неминуем, то его можно учесть за счет планируемого резервирования продолжительности.

Оставшаяся же часть рисков, вероятность возникновения которых находится в промежутке от 0 до 1, является основой формирования фактической продолжительности выполнения работы. В результате можно заключить, что измерение энтропии актуального графика строительства вполне реалистично показывает состояние информационной неопределенности при планировании и управлении строительным производством в условиях возникновения различных рисков, приводящих к фактической задержке по отношению к планируемой продолжительности.

Вместе с этим расчет энтропии может указывать и на качество управления строительным производством. Можно привести различные примеры управленческих решений, связанные либо с некомпетентностью, либо с недостатком времени принятия решения, в результате чего часть управленческих воздействий вообще не будет выполняться. В результате энергия, связанная с выработкой управленческого решения, будет «рассеиваться» в окружающую среду. Для обоснования данного тезиса рассмотрим достаточно простую для понимания механистическую модель, представленную в работе [10]. Допустим, что рабочему поручено переместить некоторый

груз M на заданное расстояние. Перемещение груза осуществляется импульсом силы, определяемым произведением ее величины на время действия силы. При этом время действия силы как раз и определяет запланированное время. В силу случайных обстоятельств, которые невозможно учесть на стадии планирования, вектор прикладываемого импульса силы по отношению к вектору перемещения составляет небольшой угол α , как это показано на рисунке.

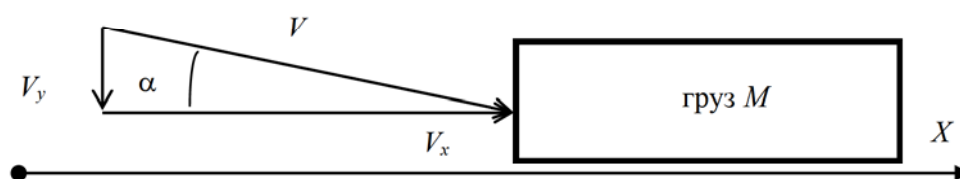
Обозначим полную энергию приложенного импульса — E , а энергию, связанную с полезной работой по перемещению груза, — A . Перемещение предмета происходит под воздействием горизонтальной составляющей импульса mV_x , которая определяется как $mV \cos \alpha$. При малом значении угла отклонения функцию $\cos \alpha$ можно разложить в степенной ряд и использовать два первых члена разложения. Тогда компоненты приложенного импульса P можно представить как $P_y = mV\alpha$ и $P_x = mV(1 - 0,5\alpha^2)$. При этом вертикальная компонента импульса порождает силу трения, а энергия, связанная с ее преодолением, трансформируется в тепло Q , определяемое формулой

$$Q = m \frac{V^2}{2} \alpha^2 = E\alpha^2. \quad (5)$$

За счет горизонтальной компоненты импульса совершается работа A по перемещению груза, рассчитываемая по формуле

$$A = m \frac{V^2}{2} \left(1 - \frac{\alpha^2}{2}\right)^2 \approx E(1 - \alpha^2). \quad (6)$$

Очевидно, что отношение полезной работы к полной энергии будет меньше единицы. Поэтому для того, чтобы полностью выполнить всю запланированную работу, нужно затратить большее время — t^{act} , чем первоначально запланированное время t^{plan} . При этом отношение t^{act}/t^{plan} будет определяться отношением E/A . В результате искомое отношение фактического



Механическая модель импульсного перемещения груза

времени выполнения работы к его запланированному значению может быть рассчитано по формуле

$$\frac{t^{act}}{t^{plan}} = \frac{1}{1-\alpha^2}. \quad (7)$$

Логарифмируя обе части уравнения (7) и учитывая малое значение величины α^2 , получаем выражение

$$S = \ln \frac{t^{act}}{t^{plan}} = \alpha^2 = \frac{Q}{E}. \quad (8)$$

Полученное для данного примера выражение показывает, что энтропия, определенная логарифмом отношения фактической продолжительности работы к ее запланированному значению, пропорциональна доле потерянной энергии, так как $\alpha^2 = Q/E$. В результате левая часть полученной формулы эквивалентна формуле расчета информационной энтропии [11], в которой вероятность события заменена на отношение планируемой продолжительности к ее фактической длительности. А правая часть оказалась пропорциональна потерянной энергии, что вполне ожидаемо, так как термодинамическое представление энтропии определяется формулой

$$dS = \frac{dQ}{T}, \quad (9)$$

где dS — приращение энтропии, пропорциональное приращению тепловой энергии dQ , которая характеризуется своей хаотичностью.

Результаты и дискуссия

В методе PERT, с помощью которого в работе [6] предложено осуществлять управление надежностью строительных программ, используются понятия оптимистической и пессимистической продолжительности. Очевидно, что если в результате строительства будет достигнут оптимистичный результат, то это значит, что в процессе управления полностью отсутствовала хаотическая энергия. Но в календарном графике, отражающем пессимистические значения продолжительностей работ, рост энтропии будет определяться максимальной величиной. Для корректно рассчитанных пессимистических и оптимистических продолжительностей работ следует ожидать, что энтропия актуального графика строительства будет больше нуля и меньше соответствующего пессимистического значения. Если принять полную энергию управления за 100 %, то тогда соответствующая эффективность

управления будет определяться отношением фактической энтропии к ее пессимистической величине

$$V = 1 - \frac{S^{act}}{S^{pes}}, \quad (10)$$

где S^{act} , S^{pes} — это фактическая и пессимистическая энтропии.

Очевидно, что расчет энтропии должен осуществляться на основании данных, полученных в результате проведения мониторинга, например по формуле, представленной в работе [4], связанной с моделированием оптимистических продолжительностей работ их планируемыми значениями:

$$S^{act} = \frac{\sum_i C_i \ln \frac{t^{act}}{t^{plan}}}{\ln 2 \sum_i C_i}, \text{ бит.} \quad (11)$$

При этом для расчета средней энтропии в качестве весов использованы стоимости соответствующих работ. Таким образом, с одной стороны, энтропия актуального графика строительства показывает состояние информационной неопределенности на момент мониторинга, а с другой — показывает эффективность общей системы управления строительством.

Дополнительно (по энтропийному показателю) можно рассчитать прогноз окончания строительства, если при этом допустить, что эффективность управления не изменится до окончания строительства. Для этого можно использовать следующее уравнение:

$$S^{act} = \frac{1}{\ln 2} \ln \frac{T^{for}}{T^{plan}}, \quad (12)$$

где T^{for} и T^{plan} — прогнозируемая и планируемая продолжительности строительства.

Свойство энтропии выступать в роли прогнозирующей характеристики меняется с течением времени осуществления строительства. Например, совершенно очевидно, что состоянию наибольшей информационной неопределенности соответствует начальный этап строительства, так как прогноз осуществляется по малому объему выполненных работ. Но, с другой стороны, ценность прогноза в начале строительства максимальна, так как прогнозу подлежит практически весь объем строительных работ. В конце строительства объем выполненных работ стремится к 100 %, однако ценность его прогноза

стремится к нулю, так как оставшийся объем работ незначителен. Если предположить, что эффективность прогноза пропорциональна произведению выполненного объема W на оставшийся объем $(1 - W)$, то прогнозирующая полезность будет равна $Y = W(1 - W)$. Применяя к последнему выражению стандартные процедуры математического анализа, получаем следующие результаты. Максимальное значение прогнозирующей полезности равно $Y = 0,25$, и оно соответствует $W = 50$ %. Среднее значение прогнозирующей полезности равно $0,167$. При объеме выполненных работ, изменяющемся в диапазоне от 0 до 21 % и от 79 до 100 %, прогнозирующая полезность меньше среднего значения. На основании этих данных рассмотрим рекомендации по применению энтропийного показателя для прогноза окончания строительства.

Анализ норм продолжительности строительства² показал, что на начальном этапе строительства отдельных объектов проводятся подготовительные и подземные работы, объем которых составляет порядка 25 % от общих капитальных вложений. Экстраполяция результатов выполнения этих работ на прогнозируемые характеристики остального строительства достаточно неопределенна, а поэтому применение энтропийного показателя, измеряющего именно эту информационную неопределенность, может быть достаточно адекватной процедурой. Конечным этапом строительства является выполнение внутренних работ, включающих и монтаж оборудования.

На этом этапе выполняется большое число работ, объединенных огромным числом связей, и сложность данного этапа также имеет большую информационную неопределенность, рассчитываемую энтропийным показателем. Между этими этапами проводятся работы по строительству надземной части объекта. Как установлено выше, для данного этапа прогнозирующая полезность составляет выше среднего. Данный этап является наиболее детерминированным с точки зрения топологии работ, так как его организационно-технологические схемы достаточно стабильны в гражданском строительстве. Это связано с тем, что строительство осущест-

вляется по этажам, типовым секциям и отдельным зданиям, входящим в комплексное освоение территории [12]. Однако и при организации строительства надземной части производственных объектов также разработаны достаточно четкие организационно-технологические схемы, в частности, основанные на комплектно-блочном методе [13], что также существенно снижает неопределенность при планировании и управлении строительством. Поэтому для основного этапа строительства применение метода прогнозирования, основанного на энтропийном показателе, целесообразно заменить на другой, более адекватный метод. Кроме планирования отдельных объектов, имеет место поточная организация строительства, в котором аналогом начального этапа может служить период развертывания строительного потока, а аналогом конечного этапа может служить период свертывания строительного потока [14].

Заключение

При рассмотрении прикладных аспектов энтропийного показателя оценки актуального графика строительства сделаны следующие выводы.

Информационная энтропия, определяемая логарифмом отношения фактической продолжительности работы к ее запланированному значению, показывает неопределенность, связанную с предыдущими информационными процессами, которая пропорциональна доле потерянной энергии, связанной с некачественным управлением.

Если же допустить, что значение информационной энтропии не изменится до окончания строительства, то можно рассчитать прогноз его окончания. При этом установлено, что наиболее эффективными этапами для энтропийного предсказания являются начальный и конечный периоды строительства отдельных объектов, а для поточного строительства, организованного на комплексе объектов, — это периоды развертывания и свертывания соответствующих потоков.

Библиографический список

1. Гусаков А. А., Ильин Н. И., Куликов Ю. А., Журавлев О. Г. Руководство по разработке и применению вероятностных сетевых моделей в строительстве. М.: ЦНИИПИИАСС, 1977. 56 с.

² СНиП 1.04.03–85. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений.

2. Лич Л. Вовремя и в рамках бюджета. Управление проектами по методу критической цепи. М.: Альпина Паблишер, 2010. 354 с.

3. Комов В. М., Коротков А. А. Определение вероятности состояний системы строительного производства // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 140–147.

4. Болотин С. А., Дадар А. Х., Магамадов Р. А. Энтропия актуального графика строительства // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 123–129.

5. 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.

6. Величкин В. З. Управление и надежность реализации строительных программ // Инженерно-строительный журнал. 2014. № 7 (51). С. 74–79.

7. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction): 01-04, 2013. 4 p.

8. Graboviy P. G. Construction Management and real estate development. Förlag: Bokförlaget Efron & Dotter AB, 2020. 674 p.

9. Болотин С. А., Дадар А. Х., Магамадов Р. А. Оптимизационное распределение затрат на оперативное управление своевременностью выполнения работ // Недвижимость: экономика, управление. 2017. № 1. С. 51–56.

10. Болотин С. А., Мальсагов А. Р. К вопросу формирования пессимистических графиков строительства // Недвижимость: экономика, управление. 2020. № 2. С. 49–54.

11. Королев О. Л., Кусый М. Ю., Сигал А. В. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике. Симферополь: ОДЖАКЪ, 2013. 148 с.

12. Челнокова В. М. Особенности календарного планирования комплексного освоения территории девелопментской организацией // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 3 (56). С. 136–141.

13. Шепелева Е. А., Шепелев А. Л. Организация строительства производственных объектов комплектно-блочным методом. Архангельск: САФУ, 2013. 139 с.

14. Rogalska M., Hejducki Z. Time coupling methods construction scheduling and time/cost optimization. Wroclaw: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, 2011. 100 p.

References

1. Gusakov A. A., Il'in N. I., Kulikov Yu. A., Zhuravlev O. G. *Rukovodstvo po razrabotke i primeneniyu veroyatnostnykh setevykh modeley v stroitel'stve* [Manual

on development and application of probabilistic network models in construction]. Moscow, TsNIIPIASS Publ., 1977, 56 p.

2. Lich L. *Vovremya i v ramkakh byudzheta. Upravlenie proektami po metodu kriticheskoy tsepi* [On time and within the budget limits. Project management by the critical chain method]. Moscow, Al'pina Publisher, 2010, 354 p.

3. Komov V. M., Korotkov A. A. *Opreделение veroyatnosti sostoyaniy sistemy stroitel'nogo proizvodstva* [Determination of the probability of states of the construction production system]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 3 (50), pp. 140–147.

4. 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.

5. Bolotin S. A., Dadar A. Kh. *Metodika rascheta zaderzhki stroitel'stva na osnove otsenki entropii aktual'nogo grafika rabot* [Methodology of calculation of construction delay based on the estimation of entropy of the actual schedule of works]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie – Real estate: economy, management*, 2019, no. 1, pp. 77–82.

6. Velichkin V. Z. *Upravlenie i nadezhnost' realizatsii stroitel'nykh programm* [Management and reliability of the implementation of construction programs]. *Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal – Engineering and Construction Journal*, 2014, no. 7 (51), pp. 74–79.

7. Bolotin S., Birjukov A. Time management in drafting probability schedules for construction work. *World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction)*, 2013, 01-04, 4 p.

8. Graboviy P. G. *Construction management and real estate development*. Bokförlaget Efron & Dotter AB Publ., 2020, 674 p.

9. Bolotin S. A., Dadar A. Kh., Magamadov R. A. *Optimizatsionnoe raspredelenie zatrat na operativnoe upravlenie svoevremennost'yu vypolneniya rabot* [Optimization distribution of costs for operational management of the timeliness of work]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie – Real estate: economy, management*, 2017, no. 1, pp. 51–56.

10. Bolotin S. A., Mal'sagov A. R. *K voprosu formirovaniya pessimisticheskikh grafikov stroitel'stva* [To the issue of the formation of pessimistic construction schedules]. *Nedvizhimost': ekonomika, upravlenie – Real estate: economy, management*, 2020, no. 2, pp. 49–54.

11. Korolev O. L., Kussiy M. Yu., Sigal A. V. *Primenenie entropii pri modelirovanii protsessov prinyatiya resheniy v ekonomike* [Application of entropy in modeling decision-making processes in economy]. Simferopol, ODZhAK Publ., 2013, 148 p.

12. Chelnokova V. M. *Osobennosti kalendarnogo planirovaniya kompleksnogo osvoeniya territorii developmentskoy organizatsiy* [Features of calendar planning of the territory complex development by development organizations]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 3 (56), pp. 136–141.

13. Shepeleva E. A., Shepelev A. L. *Organizatsiya stroitel'stva proizvodstvennykh ob'ektov komplektno-*

blochnym metodom [Organization of the construction of production facilities by the complete-block method]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2013, 139 p.

14. Rogalska M., Hejducki Z. *Time coupling methods construction scheduling and time/cost optimization*. Wroclaw, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej Publ., 2011, 100 p.