



**Методика оптимизации затрат строительных компаний при реализации
общей технологии возведения объекта**

**© Виктор Захарович Величкин, Марина Вячеславовна Петроченко,
Ирина Станиславовна Птухина, Анна Юрьевна Городишенина**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Россия
Автор, ответственный за переписку: Городишенина Анна Юрьевна, gorodish_ayu@spbstu.ru

Аннотация. В статье рассматривается методический подход к оптимизации затрат строительных компаний на организацию общей технологии возведения гражданских объектов при проектировании и реализации проекта организации строительства (ПОС). Общая технология строительства сооружений определяется последовательностью выполнения комплексов работ, оснащенных определенной строительной техникой и квалифицированными специалистами-исполнителями. Затраты на обеспечение условий их работы на строительной площадке, а также на работу технических и трудовых ресурсов формируют общие затраты строительных компаний, которые должны компенсироваться средствами, предусмотренными в сметной документации. Предлагается экономико-математическая модель для оптимизации объема этих затрат при разработке и реализации разделов ПОС. На основе данной модели для конкретного примера строительства жилого здания произведен расчет объема затрат при различных вариантах насыщения объекта техническими и трудовыми ресурсами. Сформулированы выводы относительно динамики изменения затрат на возведение данного сооружения, а также влияния сроков строительства объектов на объем затрат строительных компаний на основе исследований с применением предлагаемой экономико-математической модели.

Ключевые слова: проект организации строительства, срок строительства объекта, затраты строительных компаний, технические и трудовые ресурсы, расходы по организации строительной площадки, экономико-математическая модель затрат

Для цитирования: Величкин В. З., Петроченко М. В., Птухина И. С., Городишенина А. Ю. Методика оптимизации затрат строительных компаний при реализации общей технологии возведения объекта // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 20–27. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-20-27>.

Original article

**Methodology for optimising costs of the construction company for the management
of the general object construction technology**

**Victor Z. Velichkin, Marina V. Petrochenko,
Irina S. Ptukhina, Anna Yu. Gorodishenina**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia
Corresponding author: Anna Yu. Gorodishenina, gorodish_ayu@spbstu.ru

Abstract. The article describes a methodology for optimising the costs associated with managing the process of civil engineering construction during the design and implementation of the construction management plan (CMP). The general construction technology is determined by a sequence of particular activities using construction equipment and qualified executive specialists. The costs of the work performed by technical and labour resources, together with the costs for enabling these works at the construction site, compose the total costs of construction companies. These costs are covered by the cost estimation documentation of a constructed facility. This article proposes an economic and mathematical model for optimising the volume of these costs during the development and implementation of CMP sections. The developed model is used for assessing the costs associated with constructing a res-

idential building, considering various patterns of the used technical and labour resources. Conclusions on the dynamics of changes in the costs for this building are formulated, along with the effect of construction period on the volume of construction costs.

Keywords: construction organization project, object construction period, construction companies' costs, technical and labor resources, construction site organization costs, economic and mathematical cost model

For citation: Velichkin V. Z., Petrochenko M. V., Ptukhina I. S., Gorodishenina A. Yu. Methodology for optimising costs of the construction company for the management of the general object construction technology. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2022;12(1):20-27. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-20-27>.

Введение

При формировании технологии строительства и организации работ по возведению крупных и особенно достаточно сложных объектов и сооружений необходимо проведение серьезных технических и технологических расчетов в вариантном построении с целью достижения целесообразной организации затрат строительных компаний¹. В составе этих затрат предусматриваются расходы на эксплуатацию строительной техники, оплату труда рабочих-строителей и на содержание всех соответствующих элементов строительной площадки. Состав проектно-сметной документации ориентирован на погашение данных затрат за счет накладных расходов и затрат в составе смет на эксплуатацию строительной техники и оплату труда рабочих².

Состав сметных затрат рассчитывается в соответствии с принятыми средними нормативами продолжительности строительства. Состав и структура строительной площадки, состав и тип строительной техники, численность строительных рабочих и нормативная продолжительность возведения объекта в

проекте организации строительства (ПОС) зависят от района строительства, методов возведения зданий и сооружений, принятых технологий и т.д.³.

Общая технология возведения объекта осуществляется в соответствии с календарным планом в составе ПОС, организационно-технологическими схемами, отдельные строительные процессы выполняются по рекомендациям прилагаемых технологических карт⁴. В технологических картах в большинстве случаев рассматривается количество и квалификация рабочих, состав и тип применяемых строительных машин, пространственное построение фронта работ, оснастка и приспособления, состав и тип вспомогательных материалов, состав и длительность отдельных операций⁵ [1, 2].

Продолжительность строительства оказывает существенное влияние на продолжительность как работы строительных машин, так и использования трудовых ресурсов. В свою очередь, время работы технических и трудовых ресурсов влияет на размеры фактических затрат строительных компаний. Эти

¹Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лapidус А. А. Технология возведения зданий и сооружений: учеб. для строит. вузов. М.: Высшая школа, 2004. 446 с.;

Теличенко В. И., Терентьев О. М., Лapidус А. А. Технология строительных процессов: учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 2006. 395 с.

²Солдатенко Т. Н. Сметное дело. Сметная документация на ремонт и реконструкцию зданий и сооружений: учеб. пособ. Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. 98 с.;

Ардзинов В. Д., Барановская Н. И., Курочкин А. И. Сметное дело в строительстве: самоучитель. СПб: Питер, 2010. 496 с.;

Чистов Л. М. Экономика строительства: учеб. пособ. СПб: Питер, 2003. 640 с.

³Величкин В. З., Абдуллаев Г. И., Морозова Т. Ф., Птухина И. С. Организация строительства. Технико-экономическая оценка качества поточной организации работ [Электронный ресурс]: учеб. пособ. СПб: Политехнический университет, 2014. URL: <http://elbib.spbstu.ru/dl/2/5013.pdf> (22.01.2022);

Болотин С. А., Вихров А. Н. Организация строительного производства: учеб. пособ. М.: ACADEMIA, 2007. 207 с.;

Канюка Н. С., Шевчук Б. М., Белостоцкий О. Б. Справочник по проектированию организации строительства. Киев: Будівельник, 1969. 447 с.

⁴Чахкиев И. М. Оптимизация трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2015. 21 с.

⁵Бадьян Г. М., Стебаков В. В. Справочник строителя. М.: АСВ, 2007. 340 с.;

Нестле Х. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии / под ред. Фрея Х., Нестле Х. М.: Техносфера, 2007. 24 с.

расходы могут как превышать нормативные сметные затраты, так и составлять некоторую часть от них. В связи с этим возникает проблемная задача сформировать технологические процессы по составу и по срокам с целью предельного сокращения сроков строительства и объема фактических затрат, не превышающих сметные объемы [3, 4].

Методы

Для решения задачи минимизации затрат строительных компаний в части организации строительной площадки и назначения технических и трудовых ресурсов можно рассмотреть динамику изменения этих затрат по складывающимся срокам строительства с помощью экономико-математической модели [5, 6].

Степень влияния на объем фактических затрат строительных компаний при строительстве объекта и возведении сооружений следует увязывать с динамикой функционирования строительного рынка и методами оптимизации параметров технологических процессов [7–9]. Состав и продолжительность работы строительной техники и трудовых ресурсов, учет организации функционирования ресурсов, а также сопутствующие расходы на их обустройство и содержание на строительной площадке являются основой экономико-математической модели для поиска оптимального варианта общей технологии строительства объекта [10–12].

В этой связи модель можно представить в следующем виде:

$$Z_{\text{ТЕХН.ВАР.}} = \sum_{i=1}^n t_{Mi} \cdot Z_{Mi} + \sum_{j=1}^m t_{Ij} \cdot Z_{Ij} \cdot N_{Ij} + S_{\text{СГП}} \cdot (Z_{\text{ОБУСТР}} + Z_{\text{АР}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}) + \sum_{k=1}^K S_{\text{ВРК}} \cdot Z_{\text{СМРК}} + \left(\sum_{k=1}^K S_{\text{ВРК}} \cdot Z_{\text{ЭКК}} \right) \cdot T_{\text{РАСЧ}} \rightarrow \min. \quad (1)$$

В этой целевой функции переменными являются количество строительной техники (n), продолжительность ее работы (t_M), число исполнителей (N_I , m) и продолжительность их работы (t_I), а также $T_{\text{РАСЧ}}$ – запланированный срок строительства.

Остальные показатели рассчитываются по известным методикам на основании принятого состава технических и трудовых ресурсов.

Здесь дополнительно приняты обозначения: Z_{Mi} – стоимость машино-смены для i -ой строительной техники; Z_{Ij} – средняя тарифная ставка рабочих j -ой специализации; $S_{\text{СГП}}$ – площадь стройгенплана с учетом принятого количества технических и трудовых

ресурсов и полученной продолжительности строительства $T_{\text{РАСЧ}}$; $Z_{\text{ОБУСТР}}$ – единовременные разовые затраты средств на обустройство стройгенплана на 1 м^2 (ограждение, планировка, обеспечение пожарной безопасности и др.); $Z_{\text{АР}}$ – текущие ежедневные затраты на оплату арендуемых площадей и их содержание; $S_{\text{ВРК}}$ – площадь временных сооружений для функционирования технических и трудовых ресурсов k -го вида (бытовки, закрытые склады, крытые склады, открытые складские площадки и др.); $Z_{\text{СМРК}}$ – стоимость 1 м^2 возводимого временного сооружения k -го вида; $Z_{\text{ЭКК}}$ – стоимость ежесуточной эксплуатации 1 м^2 временного сооружения k -го вида.

В данной модели приняты ограничения:

1) $\sum_{i=1}^n t_{Mi} \cdot Z_{Mi} \leq$ сметной стоимости эксплуатации машин;

2) $\sum_{j=1}^m t_{Ij} \cdot Z_{Ij} \cdot N_{Ij} \leq$ сметной стоимости заработной платы рабочих;

3) $S_{\text{СГП}} \cdot (Z_{\text{ОБУСТР}} + Z_{\text{АР}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}) + \sum_{k=1}^K S_{\text{ВРК}} \cdot Z_{\text{СМРК}} + \left(\sum_{k=1}^K S_{\text{ВРК}} \cdot Z_{\text{ЭКК}} \right) \cdot T_{\text{РАСЧ}} \leq 15,7 \%$ от величины накладных расходов на организацию работ на строительной площадке.

Переменные n , m , k – целочисленные от нуля, единица и далее. Все остальные значения любые, более нуля.

Решение данной экономико-математической модели в виде нахождения варианта с минимальными затратами строительной компании для конкретного объекта возможно только на основе расчета и рассмотрения многочисленных вариантов с выбором наилучшего.

С учетом трудоемкости формирования варианта технологии возведения объекта и его полного расчета даже с привлечением программирования и компьютерной технологии найти оптимальный вариант очень сложно.

Для нахождения области хороших вариантов и иногда получения достаточно эффективного варианта общей технологии возведения объекта предлагается существенно оптимизировать данную экономико-математическую модель.

Развитие экономико-математического моделирования возможно на основе опытно-эвристического подхода для формирования функциональных зависимостей [5–8]. Одной из важных функциональных зависимостей является зависимость получаемой продолжительности строительства от объема технических и трудовых ресурсов [3, 4].

Для формирования такой зависимости примем следующие выражения:

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Mi}}{T_{\text{РАСЧ}}}$$

$$q = \frac{N_{\text{РАСЧ}}}{N_H}, \quad (2)$$

где $N_{\text{РАСЧ}}$ – принимаемое количество рабочих на объекте; N_H – нормативное количество рабочих, определяемое через сметную заработную плату или через сметную стоимость объекта и среднюю выработку на одного рабочего; $\sum_{i=1}^n t_{Mi}$ – общая продолжительность работы всех машин на объекте; $T_{\text{РАСЧ}}$ – принимаемая продолжительность строительства объекта по календарному плану.

Так как продолжительность строительства определяет количество работающих технических и трудовых ресурсов, то на основе опытно-эвристических экспериментов получаем следующее выражение:

$$T_{\text{РАСЧ}} = \frac{3,04 \cdot T_H \cdot B}{(1 + 0,6\mu) \cdot (1 + 0,9q)}, \quad (3)$$

где B – количество рабочих смен в сутки; T_H – продолжительность возведения объекта по нормативному календарному плану.

По данной зависимости при нормативном количестве техники и рабочих получаем нормативную продолжительность строительства. При удвоении количества техники и рабочих видим двойное сокращение сроков работ.

С учетом выражения (3) получаем на основе функции (1) следующую целевую функцию:

$$\begin{aligned} Z_{\text{ТЕХН.ВАР.}} = & T_{\text{РАСЧ}} \cdot (\mu \cdot Z_{\text{Мср}} + Z_{\text{Иср}} \cdot N_{\text{Иср}} \cdot q) + \\ & + S_{\text{СГПср}} \cdot \sqrt{\frac{T_H}{T_{\text{РАСЧ}}}} \cdot [0,65 \cdot (Z_{\text{ВРср}} + Z_{\text{ВРэк}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}) + \\ & + Z_{\text{ВРар}} \cdot T_{\text{РАСЧ}}] \rightarrow \min, \end{aligned} \quad (4)$$

где переменными являются μ и q , а $T_{\text{РАСЧ}}$ рассчитывается как производная от этих переменных.

Так как целевая функция дробная, степенная и достаточно сложная для поиска экстремума, то предлагается рассчитать границы поля поиска, задав крайние и средние значения μ и q от минимально возможного до максимального, и сформировать на основе анализа достаточно эффективный вариант.

Предложенное решение по поиску эффективного варианта построения общей технологии возведения объекта рассмотрим на следующем примере.

Сметная стоимость возведения многоэтажного жилого здания составляет 3 942 млн руб. По календарному плану среднее количество рабочих на каждый день составляет $N_H = 68$ чел. Средняя стоимость машино-смены на каждый день равна $Z_{\text{Мср}} = 92$ тыс. руб., а средняя дневная ставка рабочего $Z_{\text{Иср}} = 1,6$ тыс. руб. Продолжительность

возведения объекта по нормативному календарному плану составляет $T_H = 29$ мес., или 2,42 года. Принятая нормативная площадь стройгенплана $S_{\text{СГП}} = 128\,000$ м². Принимаем среднюю стоимость возведения одного м² временного сооружения стройгенплана $Z_{\text{ВРср}} = 1,3$ тыс. руб., среднюю стоимость эксплуатации 1 м² этих сооружений в смену равной $Z_{\text{ВРэк}} = 0,00055$ тыс. руб., а стоимость аренды и обслуживания 1 м² стройгенплана в смену $Z_{\text{ВРар}} = 0,00015$ тыс. руб.

Для проведения анализа изменений затрат на реализацию технологического варианта по возведению данного объекта принимаем одинаковое значение переменных μ и q от 0,8 до 2,2 как безразмерных величин (2). Они характеризуют объем использования по общему времени строительных машин и количество привлекаемых строительных рабочих относительно нормативного варианта. Параметры нормативного варианта определяются в соответствии с нормативной продолжительностью строительства и объемом осваиваемых инвестиций по времени возведения объекта.

На первом этапе рассчитываем по выражению (3) продолжительность возведения объекта с градацией переменных через приращение, равное 0,2.

Полученные результаты могут быть спорными, но они близки к среднестатистическим данным по различным строящимся гражданским сооружениям.

Рассмотрим результаты расчетов по выражению (4) с учетом полученной продолжительности строительства объекта при принятых значениях переменных μ и q . Значение постоянных параметров приняты ранее, а значения зависимых параметров получим в процессе. На втором этапе определяем совокупные затраты по работе технических и трудовых ресурсов по первой части выражения (4).

При расчете затрат принято 312 рабочих смен в году, а при двухсменной работе получаем 624 смены в году. Результаты расчета затрат показывают наилучший вариант технологии строительства при полуторном объеме применяемых трудовых и технических ресурсов по сравнению с нормативным формированием.

Дальнейшая интенсификация технологии за счет увеличения ресурсов способствует экономии затрат до 20 млн руб. за счет сокращения времени их работы на данном крупном объекте.

На третьем этапе осуществляется расчет совокупных затрат на организацию и обу-

строительство принятой общей технологии возведения объекта. К ним относятся затраты на строительство временных сооружений (бытовых зданий, складов, дорог, площадок), на их содержание и эксплуатацию, на аренду и со-

держание всей строительной площадки. Расчет проводится по второй части выражения (4).

Результаты расчетов сведены в таблицу.

Варианты построения общей технологии возведения объекта

Options for building a general technology for the construction of an object

Показатели	Объем технических и трудовых ресурсов относительно нормативного, равного единице (относительный объем ресурсов)							
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
$T_{РАСЧ.}$, год	2,89	2,42	2,06	1,77	1,54	1,35	1,19	1,06
$Z_{РЕС.ВАР.}$, млн руб.	289,69	303,22	309,29	310,19	308,54	304,48	298,21	292,20
$Z_{СП.ВАР.}$, млн руб.	206,15	206,21	207,76	210,34	213,80	217,84	222,69	227,88
$Z_{ТЕХН.ВАР.}$, млн руб.	495,84	509,43	517,05	520,53	522,34	522,32	520,9	520,08

Результаты и их обсуждение

В результате расчета затрат на обеспечение общей технологии возведения объекта выявлено повышение расходов строительных организаций по мере увеличения интенсивности и объемов применения технических и трудовых ресурсов при сокращении сроков строительства.

Итоги расчетов для данного примера на основе всего выражения (4) свидетельствуют о повышении затрат на общую технологию возведения объекта по мере увеличения объемов, применяемых трудовых и технических ресурсов и сокращения сроков строительства.

На рисунке показана кривая функция суммарных затрат строительной организации.

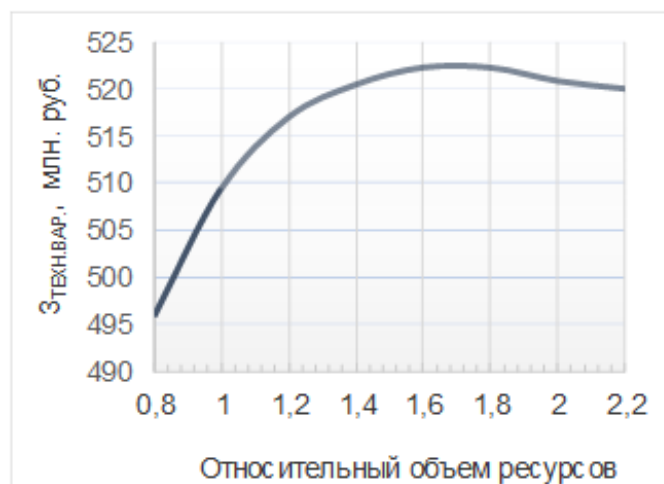
Исследование изменения затрат строительных компаний на обеспечение общей технологии возведения различных объектов при сокращении сроков строительства за счет

увеличения количества и мощности технических и трудовых ресурсов на основе модели (4) показывает:

– целесообразность с точки зрения минимизации затрат на общую технологию строительства объекта назначения нормативной продолжительности или увеличенной на 10–15 %;

– при всяком сокращении сроков строительства необходимость увеличения затрат на общую технологию, что, как правило, не компенсируется уменьшением срока работы на объекте техники и рабочих;

– сокращение сроков строительства в полтора – два раза приводит к определенной стабилизации объема затрат на общую технологию возведения объекта и при наличии дополнительных экономических эффектов в виде приведенных дисконтированных доходов может быть целесообразным.



Кривая суммарных затрат строительной компании ($Z_{ТЕХН.ВАР.}$) при увеличении количества трудовых и технических ресурсов и сокращении сроков строительства

The curve of the total costs of a construction company ($Z_{ТЕХН.ВАР.}$) with an increase in the number of labor and technical resources and a reduction in construction time

Заключение

Выводы по итогам работы:

1. Исследование влияния насыщения стройки техническими и трудовыми ресурсами на сроки строительства и на фактические затраты строительных компаний на основе экономико-математической модели (4) показывает определенную целесообразность соблюдения нормативных сроков строительства. Так как в данной модели предусматривается учет нормативного срока строительства, то оптимальность нормативного срока вызывает сомнение.
2. Исследование влияния сроков возведения объекта на затраты по общей техноло-

гии строительства по экономико-математической модели (1) показывает наличие вариантов целесообразных сроков строительства с меньшими размерами затрат по сравнению с нормативными сроками. Однако остается несомненным рост затрат при сокращении сроков строительства за счет увеличения объема применяемых трудовых и технических ресурсов. В связи с этим возможно возникновение значительного экономического эффекта за счет повышенной интенсивности строительства и получения дополнительной прибыли. Такой подход требует дополнительных исследований.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Булатов Г. Я. К теории производительности строительных машин // Труды СПбГПУ. 2007. № 502. С. 129–138.
2. Антонюк Я. С. Оценка экономической эффективности вариантов конструктивных решений в строительстве // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и архитектура. 2010. № 1. С. 142–145.
3. Антонюк Я. С. Методика оценки экономической эффективности вариантов организационных решений ПОС // Актуальные проблемы экономики строительства: материалы республиканской научно-практической конференции (Минск, 25–26 апреля 2008 г.). Минск: БГТУ, 2009. С. 23–34.
4. Голубова О. С., Костюкова С. Н. Методологические основы оценки эффективности деятельности строительной организации. Минск: БНТУ, 2019. 226 с.
5. Huang X. Optimal project selection with random fuzzy parameters // International journal of production economics. 2007. Vol. 106 (2). p. 513–522.
<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.06.011>.
6. Байрамуков С. Х., Долаева З. Н., Карабышев Р. К., Текеев И. С. Оптимизация проекта организации строительства с учетом факторов энергопотребления // Известия СевКавГГТА. № 3 (17). 2018. С. 19–26.
7. Krichevsky M., Martynova J., Dmitrieva S. Use of Neural Networks to Assess Competitiveness of Organizations // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. 2019. Vol. 1259. p. 72–82.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_8.
8. Ramsundar B., Zadeh R. TensorFlow for Deep Learning. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 256 p.
9. Величкин В. З., Петроченко М. В., Стрелец К. И., Заводнова Е. Б., Городишенина А. Ю. Метод ветвей и границ при организации квартальной застройки // Вестник МГСУ. 2021. Т. 16. Вып. 1. С. 91–104.
<https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.1.91-104>.
10. Petrochenko M., Velichkin V., Kazakov Yu., Zavadnova Ye. Reliability assessment of the construction schedule by the critical chain method // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 5 (81). p. 25–31.
<https://doi.org/10.18720/MCE.81.3>.
11. Афанасьев В. А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. 302 с.
12. Сокольников В. В. Моделирование организационно-технологической надежности строительства // Вестник гражданских инженеров. 2018. № 4 (69). С. 92–97.
<https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-4-92-97>.

REFERENCES

1. Bulatov GYa. Towards the theory of machine productivity. *Trudy SPbGTU*. 2007;502:129-138. (In Russ.).
2. Antoniuk YaS. Economic efficiency estimation of constructive decision variants in building. *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2010;1:142-145. (In Russ.).
3. Antonyuk YaS. Methodology for assessing the economic efficiency of options for organiza-

tional decisions of the PIC. *Aktual'nyye problemy ekonomiki stroitel'stva: materialy respublikanskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* (Minsk, 25–26th April 2008). Minsk: BGU; 2009. p. 23-34. (In Russ.).

4. Golubova OS, Kostyukova SN. Methodological foundations for assessing the effectiveness of a construction organization. Minsk: BNTU; 2019. 226 p. (In Russ.).

5. Huang X. Optimal project selection with random fuzzy parameters. *International journal of production economics*. 2007;106(2):513-522. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.06.011>.

6. Bayramukov SH, Dolaeva ZN, Karabashev RK, Tekeev IS. Optimization of the project of the organization of construction taking into account the factors of energy consumption. *Izvestiya SevKavGGTA*. 2018;3(17):19-26. (In Russ.).

7. Krichevsky M, Martynova J, Dmitrieva S. Use of Neural Networks to Assess Competitiveness of Organizations. *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019*. 2019;1259:72-82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-57453-6_8.

8. Ramsundar B., Zadeh R. TensorFlow for Deep Learning. Sebastopol: O'Reilly Media, 2018. 256 p.

9. Velichkin VZ, Petrochenko MV, Strelets KI, Zavodnova EB, Gorodishenina AYU. The branch and bound method applied to the construction of residential quarters. *Vestnik MGSU*. 2021;16(1):91-104. (In Russ.). <https://doi.org/10.22227/1997-0935.2021.1.91-104>.

10. Petrochenko M, Velichkin V, Kazakov Yu, Zavodnova Ye. Reliability assessment of the construction schedule by the critical chain method. *Magazine of Civil Engineering*. 2018;5(81):25-31. <https://doi.org/10.18720/MCE.81.3>.

11. Afanas'yev VA. Stream organization of construction. Leningrad: Stroyizdat; 1990. 302 p. (In Russ.).

12. Sokolnikov VV. Modeling of organizational and technological reliability of construction. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov = Bulletin of Civil Engineers*. 2018;4:92-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.23968/1999-5571-2018-15-4-92-97>.

Информация об авторах

В. З. Величкин,

доктор технических наук, профессор,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: v.velichkin2011@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0423-4958>

М. В. Петроченко,

кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: mpetrochenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4865-5319>

И. С. Птухина,

кандидат технических наук, доцент,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: ptuhina_is@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0054-2793>

Information about the authors

Victor Z. Velichkin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg,
195251, Russia,
e-mail: v.velichkin2011@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0423-4958>

Marina V. Petrochenko,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg,
195251, Russia,
e-mail: mpetrochenko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4865-5319>

Irina S. Ptukhina,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg,
195251, Russia,
e-mail: ptuhina_is@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0054-2793>

А. Ю. Городишенина,
ассистент,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого,
195251, г. Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, д. 29, Россия,
e-mail: gorodish_ayu@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6901-3040>

Anna Yu. Gorodishenina,
Assistant,
Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University,
29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg,
195251, Russia,
e-mail: gorodish_ayu@spbstu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6901-3040>

Вклад авторов

Величкин В. З., Петроченко М. В.,
Птухина И. С., Городишенина А. Ю. имеют
равные авторские права. Городишенина А. Ю.
несет ответственность за плагиат.

Contribution of the authors

Velichkin V. Z., Petrochenko M. V.,
Ptukhina I. S., Gorodishenina A. Yu. have
equal author's rights. Gorodishenina A. Yu.
bears the responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests
regarding the publication of this article.

Все авторы прочитали и одобрили
окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and
approved by all the co-authors.

Статья поступила в редакцию 31.01.2022.
Одобрена после рецензирования 24.02.2022.
Принята к публикации 25.02.2022.

The article was submitted 31.01.2022.
Approved after reviewing 24.02.2022.
Accepted for publication 25.02.2022.