

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 658.5

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.1006-1015

Информатизация организации строительного производства и оперативного управления

Владимир Вячеславович Сокольников¹, Максим Вилленинович Молодцов²

¹ Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС);
г. Санкт-Петербург, Россия;

² Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрен вопрос зависимости напряженности оперативного управления строительным производством от организации взаимодействия ключевых исполнителей производства, служб и руководства строительного предприятия.

Материалы и методы. Представлен метод координирования решений текущих производственных, обеспечивающих и управленческих задач на основе единой структуры алгоритмов выполнения технологических процессов в проектных отметках сооружения, организации производственной деятельности на строительном участке и оперативного управления. Предложено определение напряженности оперативного управления как меры эффективности организации взаимодействия производства, служб и руководства предприятия.

Результаты. Получен вид аналитической непрерывной, кусочно-линейной зависимости напряженности оперативного управления выполнением строительного технологического процесса от скоординированности значений параметров организации строительного производства (ОСП): его обеспеченности ресурсами, а также соблюдения требований строительного контроля в условиях меняющейся производственной ситуации. Получены формула напряженности оперативного управления выполнением монтажно-укладочного технологического процесса в конкретных проектных отметках сооружения в установленные сроки; параметры математической модели напряженности оперативного управления, а также цифровой интерфейс ее использования; граничные значения для переменных области определения допустимых значений параметров организации технологических процессов, обеспечивающих мероприятий, материального снабжения, а также относительная шкала для напряженности оперативного управления. Получены и проанализированы графики изменения напряженности оперативного управления в ходе выполнения техпроцесса в локальных проектных отметках сооружения.

Выводы. Сделан вывод о формировании единой информационной среды ОСП в период строительно-монтажных работ и оперативного управления посредством совместимых алгоритмов, структур данных и интерфейсов автоматизированных рабочих мест на основе математической модели, координирующей по параметрам организации строительного производства и оперативного управления алгоритмы решения производственных задач и коммуникацию ключевых исполнителей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оперативное управление, координирование и алгоритмизация коммуникации исполнителей, математическая модель, производственные задачи организации строительного производства

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Сокольников В.В., Молодцов М.В. Информатизация организации строительного производства и оперативного управления // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 6. С. 1006–1015. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.1006-1015

Автор, ответственный за переписку: Владимир Вячеславович Сокольников, vschief@yandex.ru.

Informatization of construction production organization and operational management

Vladimir V. Sokolnikov¹, Maksim V. Molodtsov²

¹ Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS); St. Petersburg, Russian Federation;

² Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
St. Petersburg, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The question of the dependence of the intensity of the operational management of construction production on the organization of interaction between key production executors, services and management of a construction enterprise is considered.

Materials and methods. The method of coordinating solutions of current production, support and management tasks based on a unified structure of algorithms of technological processes in the design elevations of the structure, the organization of production activities at the construction site and operational management is presented. The definition of the intensity of operational management as a measure of the effectiveness of the organization of interaction between production, services and management of the enterprise is proposed.

Results. The form of analytical continuous, piecewise linear dependence of the intensity of the operational management of the construction process on the coordination of the values of the parameters of the organization of construction production is obtained: its provision with resources, as well as compliance with the requirements of construction control in a changing production situation. The formula for the intensity of operational management of the implementation of the assembly and laying technological process in specific design elevations of the structure within the established timeframes was obtained. The parameters of the mathematical model of the intensity of operational control, as well as the digital interface for its use, are obtained. Boundary values for the variables of the domain of determination of the permissible values of the parameters of the organization of technological processes, providing measures, material supply, as well as a relative scale for the intensity of operational management are obtained. Graphs of changes in the intensity of operational control during the execution of the technical process in the local design elevations of the structure were obtained and analyzed.

Conclusions. The conclusion is made about the formation of a unified information environment for the organization of construction production during construction and operational management through compatible algorithms, data structures and AWS interfaces based on a mathematical model that coordinates the algorithms for solving production problems and communication of key performers in terms of the parameters of the organization of construction production and operational management.

KEYWORDS: operational management, coordination and algorithmization of communication of performers, mathematical model, production tasks of the organization of construction production

FOR CITATION: Sokolnikov V.V., Molodtsov M.V. Informatization of construction production organization and operational management. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(6):1006-1015. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.6.1006-1015 (rus.).

Corresponding author: Vladimir V. Sokolnikov, vschief@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Статья посвящена вопросам формирования цифровой платформы организации и управления производственной деятельностью строительного предприятия [1, 2]. Как известно [3], задачами организации строительного производства (ОСП) являются:

1. Обеспечение законности строительных работ, а также последующей эксплуатации законченного строительством объекта капитального строительства (ОКС).

2. Минимизация как числа опасных факторов строительного производства, так и степени их влияния на ход выполнения работ.

3. Рациональное использование людских ресурсов, а также расходования материально-технических ресурсов.

4. Возможное сокращение продолжительности возведения объекта.

5. Установление в период проектной подготовки плановых сроков возведения объекта, сроков и объемов потребности в ресурсах по периодам строительства, а также рационального размещения строительного приобъектного хозяйства.

6. Обеспечение в основной период строительно-монтажных работ (СМР) выполнения плановых сроков строительства путем поддержания необходимых темпа и ритма строительных работ.

7. Установление и поддержание максимального соответствия пространственной и хронологической последовательности выполнения техпроцессов объемно-планировочным и конструктивным проектным решениям объекта строительства.

8. Установление и поддержание максимально соответствия порядка ресурсного обеспечения

строительного производства порядку выполнения технологических процессов в проектных отметках текущей строительной готовности объекта.

9. Обеспечение выполнения требований строительного контроля.

10. Алгоритмизация и координирование актуальных процессов посредством коммуникации их исполнителей.

Из перечисленного следует, что большинство задач ОСП в главный период СМР имеют принципиально другую направленность по сравнению с задачами ОСП в период проектной подготовки [4], а следовательно, и другие методы их решения [5]. Методы оперативного управления, как и методы решения задач ОСП, в основной период СМР до настоящего времени не алгоритмизированы и не формируют единой структуры [6].

Исследованиями в области информатизации строительных процессов и управления, оценки надежности различных аспектов строительной деятельности занимались многие отечественные авторы. Указанные исследования выполнялись с целью решения методологических [7] и локальных задач проектирования строительных процессов [8, 9], планирования строительства [10] и ресурсного обеспечения [11], возведения объектов [12, 13], организационно-технологических решений при возведении [14, 15], проектной и организационно-технической подготовки строительного производства [16, 17].

Анализ доступных зарубежных литературных источников позволяет сделать вывод, что в области теоретических исследований оперативного управления и ОСП в период СМР зарубежные источники рассматривают такие задачи, как Decision making [18–20],

Secure Information Model [21], Project management [22], Project Risk [23, 24], Control Project Cost Escalation [25], Optimal resource utilization [26], однако каких-либо исследований, направленных на теоретическое моделирование в сфере информатизации оперативного управления и ОСП, не выявлено.

Вопросам оперативного управления в увязке с ОСП в период СМР не уделялось должного внимания [27]. Вместе с тем технические возможности ИТ в части алгоритмизации и коммуникации на современном этапе, а также теоретическая база ОСП и управления позволяют поставить вопрос о формировании единой цифровой платформы ОСП [28] и оперативного управления производственной и обеспечивающей деятельностью предприятия, а не только производством на строительных участках [29, 30].

Цель настоящего исследования — теоретическое обоснование системы аналитических зависимостей значений параметров оперативного управления и параметров ОСП, связанных алгоритмами, координирующими взаимодействие исполнителей при коллективном решении текущих производственных и управленческих задач.

Ключевые задачи исследования:

- определение номенклатуры, а также структуры параметров оперативного управления, ОСП в основной период строительства, количественная оценка их значений и диапазон изменений;
- установление вида, интерпретация, а также разработка интерфейса представления аналитической связи параметров оперативного управления и ОСП.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Методы оперативного управления тесно взаимодействуют с методами решения задач ОСП в основной период СМР [31], при этом граничными условиями для решений оперативного управления служат параметры ОСП [32], полученные в период проектирования. Таковыми являются параметры календарного плана и, в частности, графика работ.

Гипотеза, закладываемая в теоретическую модель координирования методов оперативного управления и ОСП, отражает подобие следующему главному соотношению системы организации и управления: «Чем выше напряженность управления в данный момент, тем хуже организация взаимодействия управления и производства в предыдущий период». Используя метод формальной логики, применяемый в общей теории систем [20], высказанную гипотезу можно формализовать в виде (1) и (2):

$$\begin{cases} [\bar{S}_{org} \cdot \bar{Q}_{rb}] \cdot F_{zatr} = \bar{Q}_{smr} \cdot \bar{T}_s \cdot (F_{budj} - F_{zatr}); \\ Y(\bar{S}_{org}) = f\left(x_1; \left(\frac{DATA_{start} - DATA_{end}}{DATA_{end} - DATA_{tek}}\right)\right), \end{cases} \quad (1)$$

где \bar{S}_{org} — множество параметров документированных алгоритмов оперативного управления (регули-

рования) расходом ресурсов на поддержание непрерывности выполнения техпроцессов и их обеспечение: *в линейном приближении* — число автоматизированных алгоритмов, связывающих параметры оперативного управления и параметры организации строительства; $Y(\bar{S}_{org})$ — главное соотношение системы переменных организации производственной деятельности строительного предприятия: баланс линейных комбинаций \bar{S}_{org} , \bar{Q}_{rb} , \bar{Q}_{smr} , \bar{T}_s , F_{budj} и F_{zatr} ; $DATA_{start}$, $DATA_{end}$ — приемлемые даты начала и окончания как организационно-управленческой рабочей процедуры, так и выполнения техпроцесса, обусловленные графиком работ.

$$x_1 = f_1\left(\frac{\bar{Q}_{smr} \cdot \bar{T}_s \cdot (F_{budj} - F_{zatr})}{\bar{Q}_{rb} \cdot F_{zatr}}\right), \quad (2)$$

где \bar{Q}_{smr} — множество параметров, обеспечивающих в строительном предприятии уровень качества СМР: *потери рабочего времени и материальных ресурсов на исправления брака*; \bar{T}_s — множество параметров текущего уровня организационного развития строительного предприятия: *в линейном приближении* — число автоматизированных процедур оперативного управления и организации; F_{budj} , F_{zatr} — финансовые параметры строительного предприятия: показатели бюджета и затрат соответственно; \bar{Q}_{rb} — множество параметров текущего уровня качества ресурсной базы строительного предприятия: *в линейном приближении* — число организационных и производственных задач, решаемых за счет собственных ресурсов строительного предприятия.

Полученное выражение (1) содержит в явном виде соотношение дат календарного графика работ при имеющихся ресурсных параметрах выполнения текущих техпроцессов. В свою очередь, высказанная гипотеза, соответствующая ей формализация параметров и временные соотношения в выражении (1) позволяют выполнить соответствующие преобразования для получения связывающей их аналитической зависимости (3) и (4). Для обозначения физического смысла этой зависимости целесообразно использовать понятие «напряженности оперативного управления технологическими и обеспечивающими процессами».

Текущая напряженность оперативного управления выполнением в плановые сроки каждого строительного процесса и обеспечивающих мероприятий H_{ou_proc} интерпретируется как характеристика эффективности организации производства в оперативные промежутки основного периода СМР. H_{ou_proc} следует определить как «меру соответствия: фактической обеспеченности ресурсами строительного процесса — текущей потребности, а также недельно-суточного графика работ — базовому календарному графику в условиях текущих вне- и внутрисплощадочных ограничений выполнения техпроцесса».

Согласно данному определению, H_{ou_proc} в общем случае зависит от следующих факторов (пере-

менных) ОСП: δ_{Vstat} — показатель заявленной текущей потребности в ресурсе; δ_{conv} — показатель обеспечения заявленной потребности; δ_{VT} — показатель своевременности выполнения монтажно-укладочного процесса; δ_{lim} — показатель вне- и внутриплощадочных текущих организационных, технических и административно-правовых ограничений выполнения технологического процесса или преобразования состояния ресурсов:

$$N_{oy_proc} = f(\delta_{lim}, \delta_{Vstat}, \delta_{conv}, \delta_{VT}). \quad (3)$$

При этом преобразования состояния ресурсов выполняют по схеме соотношения δ_{Vstat} и δ_{conv} , скоординированной с графиком выполнения техпроцесса, или комплекса техпроцессов. Координацию выполняют путем фиксации и анализа дат установления наличия и потребного количества ресурса в цепочке записей (документов): «спецификация – смета – заявки производственного участка службе снабжения – заказы поставщику – счета на оплату ресурса – платежное поручение банку – товарно-транспортные накладные – акты освидетельствования работ».

В большинстве случаев успешному окончанию техпроцесса в срок предшествует повышенная на конечном этапе его выполнения напряженность как производственных сил, так и оперативного управления.

Математическая модель N_{oy_proc} , построенная на гипотезе, соотношении (1) и зависимости (3), в связи с необходимостью частых перерасчетов для оперативного координации решения производственных и обеспечивающих задач, должна функционировать в сети автоматизированных рабочих мест (АРМ) ключевых исполнителей ОСП и оперативного управления. Математическая модель должна быть снабжена интерфейсами и алгоритмами получения и обработки первичных данных, взятых из записей исполнителей, сделанных в рабочем порядке этапов решения их производственных задач. В свою очередь, записи выполняют в установленном формате, подлежащем автоматической обработке по алгоритмам модели. Такое применение математической модели позволит своевременно прогнозировать тенденцию (не)завершения техпроцессов в установленный срок, а также быстро локализовать причины вероятного срыва сроков, в том числе: «субподрядчики», «поставки», «собственная техническая и/или кадровая база», «инженерное сопровождение», «недостатки проектной документации», «предписания технадзора» и т.д. и принимать корректирующие меры, по необходимости. Сеть АРМ, построенная по модели (3)–(5), осуществляет алгоритмическую коммуникацию исполнителей и автоматически координирует принятие решений о способах, очередности и приоритетности решений текущих задач ОСП, которые являются основным содержанием аналитической части повседневной производственной и хозяйственной деятельности инженерно-технических работников строительных предприятий (СП).

Взаимодействие исполнителей организации и управления характеризуется следующими особенностями:

- меняющееся многообразие текущей потребности технологических процессов в ресурсах и стадиях удовлетворения этой потребности;
- меняющееся многообразие текущих ограничений организационного, технического и административно-правового характера в выполнении строительных и обеспечивающих процессов;
- рассредоточенность данных и исполнителей, случайный и неожиданный для отвечающего характер коммуникации, многообразие и противоречивость критериев и приоритетов оперативного управления, жесткий дефицит времени на принятие решений, запозывание и низкая проверяемость данных.

Учитывая эти обстоятельства, оперативная коммуникация не должна отвлекать смежных исполнителей от решения их производственных задач. Поэтому одним из интерфейсов модели напряженности должен быть доступ не к исполнителю, а к достоверному текущему результату этапа решаемой им задачи, позволяющему отстроить решение зависимых задач. Указанный интерфейс аналогичен структурированному (отфильтрованному) по производственным задачам чату хранимых форм рабочих записей. В этом случае личная коммуникация исполнителей минимальна, не приносит помех смежным исполнителям, доступна для анализа методами управления с целью совершенствования ОСП в основной период СМР.

Совместная информатизация ОСП и оперативного управления, т.е. координации и алгоритмизации решений задач и коммуникации исполнителей на основе математической модели N_{oy_proc} , должна исключать значимую роль системных администраторов и операторов ввода данных при ее эксплуатации в сети АРМ СП. Поэтому, учитывая небольшое число оперативных записей и невысокую скорость оборота документов в СП, специализированное программное обеспечение должно иметь простой и устойчивый к нештатным режимам оборота данных интерфейс и реализовывать логику порядка решения производственных задач всеми исполнителями и руководством СП. Структура хранения данных в сети АРМ также должна быть наглядной и основана на порядке решения производственных задач.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На основе гипотезы (1) и выражения (3) общий вид линейной зависимости N_{oy_proc} от соотношения приведенных выше параметров будет иметь следующий вид:

$$N_{oy_proc} = \delta_{lim} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{\delta_{(VSTAT)i} \cdot \delta_{(VT)i}}{\delta_{(CONV)i}} \right), \quad (4)$$

где N_{oy_proc} — напряженность оперативного управления текущими строительными процессами; δ_{lim} — показатель текущих вне- и внутриплощадочных

ограничений выполнения монтажно-укладочного техпроцесса; n — число ресурсов *текущей потребности* технологического процесса; δ_{Vstat} — показатель текущей заявленной потребности технологического процесса в ресурсе; δ_{VT} — показатель своевременности выполнения текущего монтажно-укладочного процесса; δ_{conv} — показатель обеспеченности заявленной потребности.

В показателе δ_{VT} реализована в явном виде зависимость напряженности оперативного управления от своевременности выполнения техпроцессов по графику — отношение конечно-разностных уравнений дат выполнения техпроцесса.

Оценка (вклад) в N_{oy_proc} скоординированности служб СП описывается показателями δ_{lim} , δ_{Vstat} , δ_{conv} . Эти показатели также имеют вид детерминированных соотношений, определенных на множестве допустимых значений параметров ОСП. В выражениях для других переменных (4) зависимость напряженности оперативного управления выражается через формальное числовое нормирование в диапазоне 0–1 линейных соотношений входящих в эти переменные параметров: удельные весовые коэффициенты значимости ограничений — для δ_{lim} , пропорциональные части заявленной текущей потребности в ресурсах актуального техпроцесса — для δ_{Vstat} и пошаговые счетчики преобразований состояния обеспеченности заявленными материально-техническими ресурсами — для δ_{conv} .

Так как объем статьи не позволяет в полном объеме представить и обосновать все показатели в выражении (4), рассмотрим наиболее сложный показатель своевременности выполнения техпроцесса δ_{VT} , содержащий конечно-разностное уравнение дат. На основе (1) в линейном приближении он описывается следующим выражением:

$$\delta_{VT} = \left(1 + \left| \frac{dat_{тек} - dat_{заявки}}{dat_{оконч} - dat_{заявки}} - \frac{V_{готов}}{V_{заявки}} \right| \right), \quad (5)$$

где $dat_{тек}$ — текущая дата; $dat_{заявки}$ — дата заявки текущей потребности в ресурсе; $dat_{оконч}$ — дата окончания монтажно-укладочного процесса по графику; $V_{готов}$ — объем ресурса текущей заявленной потребности, готовый к расходованию; $V_{заявки}$ — объем текущей заявленной потребности ресурса.

Область допустимых значений δ_{VT} : $1 \leq \delta_{VT} \leq 2$.

Конечные условия для δ_{VT} : при $V_{готов} = V_{заявки}$, $dat_{тек} = dat_{оконч}$.

При $dat_{заявки} = dat_{оконч}$, $dat_{заявки} - dat_{оконч} = 1$.

Слагаемое = 1 (методическая погрешность) введено для устранения значения функции $N_{oy_proc} = 0$ в случае действия других факторов напряженности.

Измеритель N_{oy_proc} имеет следующий вид:

$$\left[\frac{\text{число_информационных_преобразований_ресурсов}}{\text{оставшаяся_продолжительность_технологического_процесса_по_графику}} \right] = \left[\frac{\text{ед.}}{\text{день}} \right]. \quad (6)$$

На рис. 1, 2 показан интерфейс АРМ в режиме онлайн-оповещения ключевых сотрудников о текущих причинах и адресности повышенной напряженности оперативного управления, вызванных проблемами ОСП на объектах предприятия. Табличная часть интерфейса (рис. 2) автоматически заполняется актуальными детальными данными по алгоритму математической модели (4). Таблица доступна ключевым сотрудникам через сеть АРМ и показывает как причины и адресность текущих проблем организации выполнения технологических процессов на объектах предприятия, так и соответствующую им напряженность оперативного управления. Следует отметить, что напряженность оперативного управления характеризует в данном случае количество решаемых задач и скорость расстановки приоритетов ключевыми исполнителями.

На рис. 3 приведен график мониторинга отклонений N_{oy_proc} управления текущими технологическими процессами. Шкала относительных изменений напряженности оперативного управления, полученная в результате численного исследования минимаксных значений показателей, входящих в выражение (4), лежит в пределах от 0 (завершенный техпроцесс) до 30 (максимальные текущие ограничения выполнения техпроцесса). График на рис. 3 позволяет сделать вывод о том, что выполнение техпроцесса 1 дезорганизовано, выполнение технологического процесса 2 находится в допустимых отклонениях по параметрам управления (в диапазоне значений от 6 (норма) до 12), а график техпроцесса 3 отражает идеальную организацию работ. Следует уточнить, что шкала изменений N_{oy_proc} в соответствии с моделью (4) характеризует относительное увеличение напряженности до 5 раз (в пиковые моменты производства). Характер нелинейности N_{oy_proc} может быть обоснован в дальнейших исследованиях, но при постоянном составе исполнителей увеличение их нагрузки в короткий период до 5 раз без потери качества работы представляется предельно допустимым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Система аналитических зависимостей значений параметров оперативного управления и параметров ОСП, интерпретируемая как «напряженность оперативного управления техпроцессами», представленная в виде (4) и (5), а также табличный интерфейс ее представления (рис. 1, 2) позволяют алгоритмизировать и цифровизировать координацию принятия решений ключевыми исполнителями ОСП и оперативного управления в строительном предприятии.

Автоматический пересчет по алгоритмам модели значений в таблице напряженности оперативно-

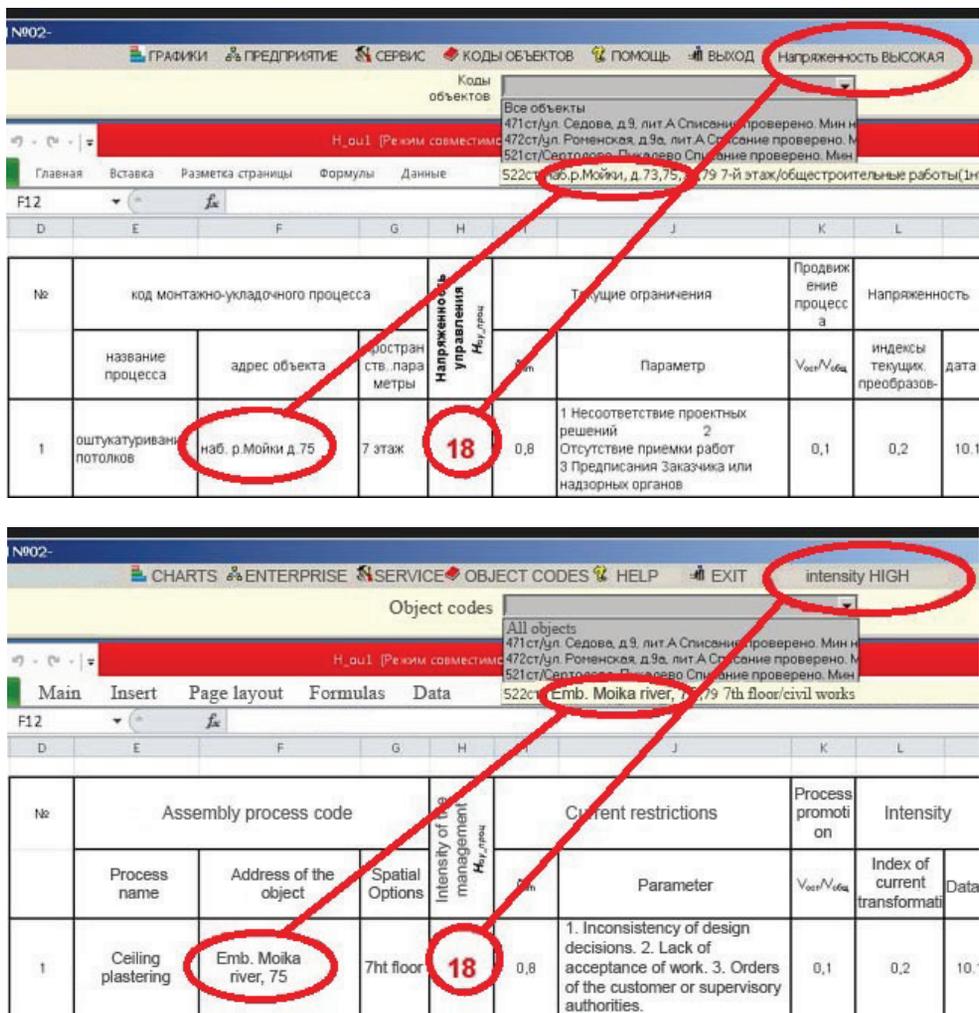


Рис. 1. Интерфейс АРМ в режиме организации и оперативного управления строительным производством

Fig. 1. AWS interface in the mode of organization and operational management of construction production

№	код монтажно-укладочного процесса			Напряженность управления $H_{упр,прое}$	Текущие ограничения		Продвижение процесс		Напряженность ресурсного обеспечения			Своевременность обеспечения	
	название процесса	адрес объекта	пространств. параметры		δ_{lim}	Параметр	V_{occ}/V_{obs}	индексы текущих преобразов.	дата индекса	Наим. ресурса	δ_{VT}	$V_{зад}/V_{occ}$	
1	оштукатуривание потолков	наб. р. Мойки д.75	7 этаж	18	0,8	1 Несоответствие проектных решений 2 Отсутствие приемки работ 3 Предписания Заказчика или надзорных органов	0,1	0,2	10.12.2016	штукатуры-маляры 6 чел.	2	1	
2	устройство монолитного ж/б возстка	ул. Аккуратова д.6	(А-К: 1-8); - 2.500	6,43	0,2	неготовность фронта	0,75	0,4	12.12.2016	арматура А300 d16	1,5	0,7	

№	Assembly process code			Intensity of the management $H_{упр,прое}$	Current restrictions		Process promotion		The intensity of resource provision			Timeliness of resource provision	
	Process name	Address of the object	Spatial Options		δ_{lim}	Parameter	V_{occ}/V_{obs}	Index of current transformati	Index date	Resource name	δ_{VT}	$V_{зад}/V_{occ}$	
1	Ceiling plastering	Emb. Moika river, 75	7th floor	18	0,8	1. Inconsistency of design decisions. 2. Lack of acceptance of work. 3. Orders of the customer or supervisory authorities.	0,1	0,2	10.12.2016	Plasterer-painter, 6 persons	2	1	
2	Monolithic reinforced concrete grillage device	st. Akkuratova, 6	(A-K: 1-8); - 2.500	6,43	0,2	1. The unpreparedness of the front	0,75	0,4	12.12.2016	Reinforcing bars A300 d16	1,5	0,7	

Рис. 2. Табличная форма результата автоматической обработки рабочих оперативных записей исполнителей по алгоритмам математической модели (4)

Fig. 2. Tabular form of the result of automatic processing of working operational records of performers according to the algorithms of the mathematical model (4)

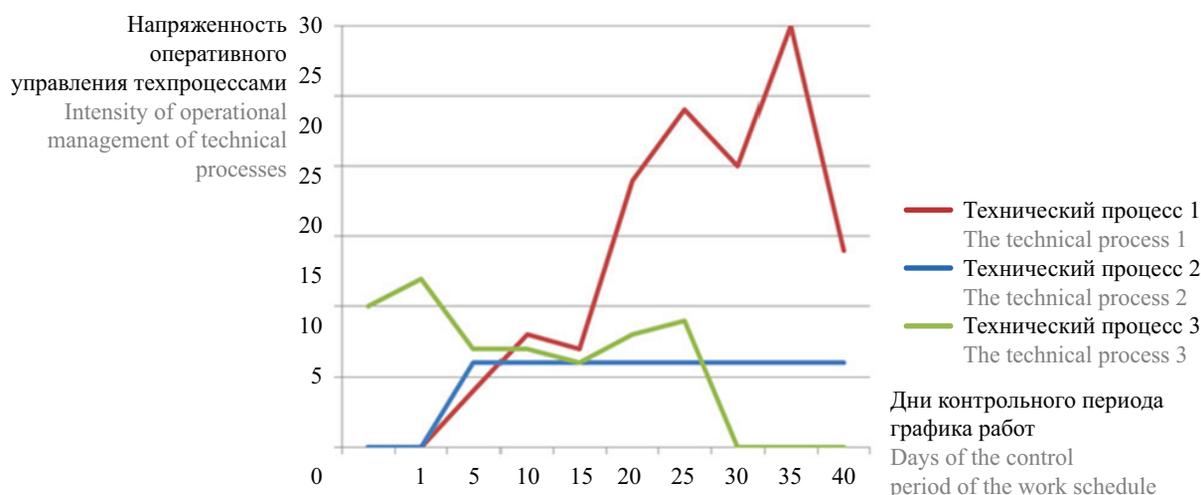


Рис. 3. Графическая форма интерфейса математической модели (2) в режиме АРМ «анализ эффективности ОСП на объекте за контрольный период»

Fig. 3. The graphical form of the interface of the mathematical model (2) in the AWS mode “analysis of the effectiveness of the OCP at the facility for the control period”

го управления, являющийся онлайн-мониторингом стадий решения задач и формирования производственных документов (в том числе и незавершенных: акты, рабочие заявки, корректировки графика и т.п.), синхронизированный с моментами доступа к таблице исполнителей и их руководителей, позволяет скоординировать их работу, а также своевременно обеспечивает оперативное управление необходимыми данными и исключает запаздывание и ошибки отчетности, а также затраты времени на ее выпуск.

Совместная информатизация ОСП и оперативного управления, построенная на алгоритмах мониторинга изменений оперативных рабочих записей исполнителей, координация решения производственных задач различными службами

и руководством, а также алгоритмизация коммуникации исполнителей по параметрам решаемых задач обеспечивают достоверное краткосрочное прогнозирование корректирующих воздействий для выдерживания графика работ по параметрам математической модели (4).

Алгоритмы, совместимые структуры данных и интерфейс в виде шаблонов исполнительских форм математической модели (4) напряженности оперативного управления выполнением технологического процесса в срок, установленный графиком работ, создают единую информационную среду организации строительного производства и оперативного управления, что повышает организационно-технологическую надежность строительного производства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лapidус А.А. Организационно-технологическая платформа строительства // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 4. С. 516–524. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524. EDN BMHWDX.
2. Marcon P., Zezulka F., Vesely I., Szabo Z., Roubal Z., Sajdl O. et al. Communication Technology for Industry 4.0 // 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS). 2017. DOI: 10.1109/PIERS.2017.8262021
3. Лapidус А.А., Мотылев Р.В., Сокольников В.В. Формирование методологии детерминированной модели организации строительного производства на основе концепции организационно-технологической платформы строительства // Вестник МГСУ. 2023. Т. 18. № 1. С. 116–131. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.116-131. EDN IDDMFY.

4. Соболев В.В. Информационное моделирование при разработке проектов организации строительства и проектов производства работ // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2008. № S1. С. 31–35. EDN VSLIYL.
5. Болотин С.А., Дадар А.К.Х., Котовская М.А. Модель пространственно-временной аналогии в оптимизации последовательности реконструируемых объектов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 7 (42). С. 51–57. DOI: 10.5862/MCE.42.7. EDN RHAJKL.
6. Сокольников В.В. Совершенствование оперативного планирования строительного-монтажных работ и их ресурсного обеспечения на основе единой информационной среды управления : автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2017. 23 с.

7. Калачев В.Л., Керимов Ф.Ю., Акоюн А.Н. Методологические основы совершенствования организационно-технологических процессов качественной подготовки коммуникаций промышленных сооружений к эксплуатации // Оборонный комплекс — научно-техническому прогрессу России. 2006. № 2. С. 82–84. EDN KBBADJ.
8. Легостаева О.А. Многофакторные модели для оценки инвестиционных проектов // Технология и экономика строительства. Проблемы и пути их решения : сб. науч. тр. 2004. С. 139–153.
9. Федосеева Т.А. Формирование функциональной модели организации строительного производства в условиях чрезвычайной ситуации // Вестник МГСУ. 2013. № 10. С. 272–277. EDN RFXIBP.
10. Михайличенко О.Ю. Организационная надежность реализации строительных проектов // Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). 2011. Т. 14. № 2 (51). С. 11–15. EDN UMNGXF.
11. Кузнецов П.А., Олейник С.П., Захаров П.В. Организационная надежность управления ресурсным обеспечением при переустройстве аварийных объектов // Жилищное строительство. 2006. № 1. С. 5. EDN KZBBSF.
12. Недавний О.И., Базилевич С.В., Кузнецов С.М. Оценка организационно-технологической надежности строительства объектов // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 137–141. EDN RTJHHZ.
13. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З., Солдатенко Т.Н. Повышение организационно-технологической надежности строительства линейно-протяженных сооружений методом прогнозирования отказов // Инженерно-строительный журнал. 2013. № 3 (38). С. 43–50. DOI: 10.5862/MCE.38.6. EDN PZETTH.
14. Кузнецов С.М., Маслов И.А., Суворов А.Д., Ячменьков С.Н. Оценка надежности организационно-технологических решений в строительстве // Транспортное строительство. 2007. № 1. С. 26–27. EDN UWZCGJ.
15. Абдуллаев Г.И., Величкин В.З. Особенности оценки надежности строительных потоков // Инженерно-строительный журнал. 2009. № 4 (6). С. 53–54. EDN NBMZFX.
16. Каракозова И.В., Павлов А.С. Создание сетевой модели на основе универсальной последовательности строительных работ // Строительство: наука и образование. 2020. Т. 10. № 3. С. 1–16. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.3.1
17. Гусаков А.А., Гинзбург А.В., Веремеенко С.А., Монфред Ю.Б., Прыкин Б.В., Яровенко С.М. Организационно-технологическая надежность строительства. М. : А/О «Внешторгиздат», 1994. 472 с. EDN TOCFEF.
18. Qian F., Zhong W., Du W. Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry // Engineering. 2017. Vol. 3. Issue 2. Pp. 154–160. DOI: 10.1016/J. ENG.2017.02.011
19. Hagiу A., Wright J. Multi-sided platforms // International Journal of Industrial Organization. 2015. Vol. 43. Pp. 162–174. DOI: 10.2139/ssrn.2794582
20. Сааму Т.Л. Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети. М. : ЛКИ, 2008. 360 с.
21. Shaabany G., Grimm M., Anderl R. Secure information model for data marketplaces enabling global distributed manufacturing // Procedia CIRP. 2016. Vol. 50. Pp. 360–365. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.003
22. Atkinson R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria // International Journal of Project Management. 1999. Vol. 17. Issue 6. Pp. 337–342. DOI: 10.1016/s0263-7863(98)00069-6
23. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity // Research Policy. 2011. Vol. 40. Issue 3. Pp. 415–428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011
24. Batson R. Project risk identification methods for construction planning and execution // Construction Research Congress 2009. 2009. DOI: 10.1061/41020(339)76
25. Anderson S., Molenaar K., Schexnayder C. Right-of-way methods and tools to control project cost escalation // NCHRP Synthesis 132, Transportation Research Board National Academies. 2009.
26. El-Rayes K., Moselhi O. Optimizing resource utilization for repetitive construction projects // Journal of Construction Engineering and Management. 2001. Vol. 127. Issue 1. Pp. 18–27. DOI: 10.1061/(asce)0733-9364(2001)127:1(18)
27. Sokolnikov V., Osipenkova I., Stupakova O., Motylev R., Nurgalina R. Information models of structures and modeling in construction // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 274. P. 09016. DOI: 10.1051/e3sconf/202127409016
28. Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E. The organizational process in construction using information modeling technologies // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 91. P. 08032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108032
29. Сокольников В.В. Математическая постановка задачи моделирования поточной организации работ в строительстве // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 3. С. 443–451. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.443-451. EDN ZQTLBY.
30. Сокольников В.В. Моделирование организации работ на основе концепции физического строительного потока // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 1 (72). С. 94–99. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-94-99. EDN KNHGMN.
31. Калюжнюк М.М., Сандан Р.Н. Структурная классификация элементов строительных процессов // Вестник гражданских инженеров. 2008. № 1 (14). С. 46–52. EDN JVFRTN.
32. Калюжнюк М.М., Калюжнюк А.В. Организация строительных процессов: основы теории структурно-функционального моделирования // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 131–139. EDN TZHMMT.

Поступила в редакцию 26 июня 2023 г.

Принята в доработанном виде 17 марта 2024 г.

Одобрена для публикации 21 марта 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: **Владимир Вячеславович Сокольников** — кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций, зданий и сооружений; **Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)**; 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр-т, д. 9; РИНЦ ID: 526448, Scopus: 57202821958, ResearcherID: ABA-8338-2021, ORCID: 0000-0003-3768-2079; vschief@yandex.ru;

Максим Виленнович Молодцов — кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры организации строительства; **Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)**; 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; SPIN-код: 8092-7416, Scopus: 57194618453, ResearcherID: D-7894-2018, ORCID: 0000-0003-4384-9330; molodcovmv@mail.ru.

Вклад авторов:

Сокольников В.В. — научное руководство, концепция исследования, развитие методологии и идеи.

Молодцов М.В. — сбор и обработка материала, написание статьи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Lapidus A.A. Organizational and technological platform of construction. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2022; 17(4):516-524. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.4.516-524. EDN BMHWDX. (rus.).
2. Marcon P., Zezulka F., Vesely I., Szabo Z., Roubal Z., Sajdl O. et al. Communication Technology for Industry 4.0. *2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium — Spring (PIERS)*. 2017. DOI: 10.1109/PIERS.2017.8262021
3. Lapidus A.A., Motylev R.V., Sokolnikov V.V. Development of a methodology underlying a deterministic model of construction work arrangements on the basis of the concept of an organizational and technological platform for construction. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2023; 18(1): 116-131. DOI: 10.22227/1997-0935.2023.1.116-131. EDN IDDMFY. (rus.).
4. Sobolev V.V. Information modeling in the development of projects for the organization of construction and projects for the production of works. News of higher educational institutions. *North Caucasian region. Series: Engineering sciences*. 2008; S1:31-35. EDN VSLIYL. (rus.).
5. Bolotin S.A., Dadar A.Kh., Kotovskaya M. The model of the space-time analogy in the optimization of the renovation order of buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 7(42):51-57. DOI: 10.5862/MCE.42.7. EDN RHAJKL. (rus.).
6. Sokolnikov V.V. *Improving the operational planning of construction and installation works and their resource support on the basis of a unified management information environment : author. dis. ... cand. tech. sciences*. St. Petersburg, 2017; 23. (rus.).
7. Kalachev V.L., Kerimov F.Yu., Akopyan A.N. Methodological bases of improvement of organizational and technological processes of qualitative preparation of communications of industrial structures for operation. *Defense Industry Achievements — Russian Scientific and Technical Progress*. 2006; 2:82-84. EDN KBBADJ. (rus.).
8. Legostaeva O.A. Multifactor models for evaluation of investment projects. Technology and economics of construction. *Problems and ways to solve them. Inter-university collection of scientific papers*. 2004; 139-153. (rus.).
9. Fedoseeva T.A. Functional modeling of construction organization in emergency situations. *Vestnik MGSU [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]*. 2013; 10:272-277. EDN RFXIBP. (rus.).
10. Mikhailichenko O.Yu. Organizational reliability of the implementation of construction projects. *Proceedings of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*. 2011; 14(2):11-15. EDN UMGXF. (rus.).
11. Kuznetsov P.A., Oleinik S.P., Zakharov P.V. Organizational reliability of resource management during the reconstruction of emergency facilities. *Housing Construction*. 2006; 1:5. EDN KZBBCF. (rus.).
12. Nedavny O.I., Bazilevich S.V., Kuznetsov S.M. Assessment of organizational and technological reliability of project construction. *Systems. Methods. Technologies*. 2013; 2(18):137-141. EDN RTJHHZ. (rus.).
13. Abdullaev G.I., Velichkin V.Z., Soldatenko T.N. Improving the organizational and technological reliability of the construction of linear-extended structures by the method of predicting failures. *Magazine of Civil Engineering*. 2013; 3(38):43-50. DOI: 10.5862/MCE.38.6. EDN PZETTH. (rus.).
14. Kuznetsov S.M., Maslov I.A., Suvorov A.D., Yachmenkov S.N. Assessment of reliability of organizational and technological solutions in construction.

- Transport Construction*. 2007; 1:26-27. EDN UWZCGJ. (rus.).
15. Abdulayev G.I., Velichkin V.Z. Some features of reliability evaluation of building flows. *Magazine of Civil Engineering*. 2009; 4(6):53-54. EDN NBMZFX. (rus.).
16. Karakozova I.V., Pavlov A.S. Creation of a network model on the basis of a universal sequence of construction works. *Construction: Science and Education*. 2020; 10(3):1-16. DOI: 10.22227/2305-5502.2020.3.1 (rus.).
17. Gusakov A.A., Ginzburg A.V., Veremeenko S.A., Monfred Yu.B., Prykin B.V., Yarovenko S.M. *Organizational and technological reliability of construction*. Moscow, A/O “Vneshtorgizdat”, 1994; 472. EDN TOCFEF (rus.).
18. Qian F., Zhong W., Du W. Fundamental theories and key technologies for smart and optimal manufacturing in the process industry. *Engineering*. 2017; 3(2):154-160. DOI: 10.1016/J. ENG.2017.02.011
19. Hagi A., Wright J. Multi-sided platforms. *International Journal of Industrial Organization*. 2015; 43:162-174. DOI: 10.2139/ssrn.2794582
20. Saati T.L. *Decision making under dependencies and feedbacks: analytical networks*. Moscow, LKI, 2008; 360. (rus.).
21. Shaabany G., Grimm M., Anderl R. Secure information model for data marketplaces enabling global distributed manufacturing. *Procedia CIRP*. 2016; 50:360-365. DOI: 10.1016/j.procir.2016.05.003
22. Atkinson R. Project management: cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, its time to accept other success criteria. *International Journal of Project Management*. 1999; 17(6):337-342. DOI: 10.1016/s0263-7863(98)00069-6
23. Gil N., Tether B.S. Project risk management and design flexibility: Analysing a case and conditions of complementarity. *Research Policy*. 2011; 40(3):415-428. DOI: 10.1016/j.respol.2010.10.011
24. Batson R. Project risk identification methods for construction planning and execution. *Construction Research Congress 2009*. 2009. DOI: 10.1061/41020(339)76
25. Anderson S., Molenaar K., Schexnayer C. *Right-of-way methods and tools to control project cost escalation*. NCHRP Synthesis 132, Transportation Research Board National Academies. 2009.
26. El-Rayes K., Moselhi O. Optimizing resource utilization for repetitive construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2001; 127(1):18-27. DOI: 10.1061/(asce)0733-9364(2001)127:1(18)
27. Sokolnikov V., Osipenkova I., Stupakova O., Motylev R., Nurgalina R. Information models of structures and modeling in construction. *E3S Web of Conferences*. 2021; 274:09016. DOI: 10.1051/e3sconf/202127409016
28. Kuzhin M., Zhadanovsky B., Kudryashov M., Granilshchikova E. The organizational process in construction using information modeling technologies. *E3S Web of Conferences*. 2019; 91:08032. DOI: 10.1051/e3sconf/20199108032
29. Sokolnikov V.V. Mathematical formulation of the problem of modeling the flow organization of works in construction. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2020; 15(3):443-451. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.443-451. EDN ZQTLBY (rus.).
30. Sokolnikov V.V. Modeling of work organization based on the concept of physical construction stream. *Bulletin of Civil Engineers*. 2019; 1(72):94-99. DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-1-94-99. EDN KNHGMN (rus.).
31. Kalyuzhnyuk M.M., Sandan RN. Structural classification of elements of construction processes. *Bulletin of Civil Engineers*. 2008; 1(14):46-52. EDN JVFRTN (rus.).
32. Kalyuzhnyuk M.M., Kalyuzhnyuk A.V. Organization of construction processes: the fundamentals of the theory of structural and functional modeling. *Bulletin of Civil Engineers*. 2015; 3(50):131-139. EDN TZHMMT (rus.).

Received June 26, 2023.

Adopted in revised form on March 17, 2024.

Approved for publication on March 21, 2024.

B I O N O T E S : **Vladimir V. Sokolnikov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Structures, Buildings and Structures; **Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University (PGUPS)**; 9 Moskovsky pr., St. Petersburg, 190031, Russian Federation; ID RSCI: 526448, Scopus: 57202821958, ResearcherID: ABA-8338-2021, ORCID: 0000-0003-3768-2079; vschief@yandex.ru;

Maksim V. Molodtsov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, senior lecturer of the Department of Construction Organization; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4 2nd Krasnoarmeiskaya st., St. Petersburg, 190005, Russian Federation; SPIN-code: 8092-7416, Scopus: 57194618453, ResearcherID: D-7894-2018, ORCID: 0000-0003-4384-9330; molodcovmv@mail.ru.

Contribution of the authors:

Vladimir V. Sokolnikov — scientific guidance, research concept, development of methodology and idea.

Maksim V. Molodtsov — collection of material, material processing, article writing.

The authors declare that there is no conflict of interest.