

Формирование эффективного графика производства работ при строительстве монолитного железобетонного дома

Надежда Владимировна Розанцева¹, Владимир Викторович Золотарев²

¹ Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ);
г. Санкт-Петербург, Россия;

² Главстрой-Регионы; г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Существующие принципы организации строительства, основанные на ранних разработках, не учитывающих современную ситуацию, в значительной степени становятся препятствием на пути развития строительной отрасли. Сложившаяся ситуация требует внедрения новых подходов в управлении строительством, позволяющих адаптироваться к изменяющимся экономическим условиям и способствующих сокращению продолжительности строительства. Задачей исследования была разработка проекта организации работ, позволяющая сократить сроки возведения монолитного этажа с 14 до 6 рабочих дней. Научная новизна заключается в разработке комбинаций различных технологических этапов, которые дали возможность сократить продолжительность строительства, не нарушая технологий строительного производства; оперативно принимать решения в конкретной ситуации и вести полный контроль за расходом строительных материалов, возможными потерями и трудозатратами, не направленными на выполнение основных задач, с целью повышения технико-экономических показателей строительства.

Материалы и методы. Изучены типовые технологические процессы и нормативные документы. Выявлено, что снижению трудозатрат и расхода строительных материалов, повышению производительности и улучшению качества способствуют оптимизация технологических процессов и использование принципов бережливого строительства; разработка и внедрение технологии зависит от конечной поставленной цели и задачи проекта, подразумевает последовательность принятия решений.

Результаты. Разработан алгоритм принятия конкретных решений. Для достижения поставленной цели проведен анализ технологии монолитного домостроения, выявлены моменты, оказывающие непосредственное влияние на увеличение продолжительности строительства и возможных потерь, предложены варианты внесения изменений, способствующие решению этих проблем.

Выводы. Предлагаемая система организации работ может иметь большой потенциал в дальнейшем, несмотря на свою простоту. Разработанные технические и технологические решения, направленные на бережливое отношение в производстве и организации строительства, во многом будут способствовать повышению конкурентоспособности строительных компаний, снижая себестоимость продукции посредством сокращения прямых затрат, увеличения производительности и повышения качества продукции. Этапы дальнейшего внедрения будут выстраиваться всецело на обосновании и разработке модели управления бережливым строительством и шагов по внедрению данной системы, определении зоны ответственности каждого участника.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: производительность труда, трудозатраты, потери, бережливое строительство, бережливое производство, монолитное строительство

Благодарности. Главстрой-Регионы выражает благодарность рецензентам, положительно оценившим данную работу.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Розанцева Н.В., Золотарев В.В. Формирование эффективного графика производства работ при строительстве монолитного железобетонного дома // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 10. С. 1676–1686. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1676-1686

Автор, ответственный за переписку: Надежда Владимировна Розанцева, nrozanceva@lan.spbgasu.ru.

Formation of an effective schedule of work during the construction of a monolithic reinforced concrete house

Nadezhda V. Ryazantseva¹, Vladimir V. Zolotarev²

¹ Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU);
St. Petersburg, Russian Federation;

² Glavstroy-Regions; Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The existing principles of construction organization, based on early developments that do not take into account the current situation, to a large extent become an obstacle to the development of the construction industry. The current situation requires the introduction of new approaches in construction management, allowing to adapt to changing economic

conditions, and contributing to a reduction in the duration of construction. The task of the study was to develop a project for the organization of work, which allows reducing the time for the construction of a monolithic floor from 14 to 6 working days. The scientific novelty of the work lies in the development of such combinations of various technological stages that made it possible to reduce the duration of construction without violating construction production technologies; to make decisions promptly in a specific situation and maintain full control over the consumption of building materials, possible losses and labour costs not aimed at fulfilling the main tasks, in order to improve the technical and economic indicators of construction.

Materials and methods. Standard technological processes and regulatory documents were studied. It is revealed that the optimization of technological processes and the use of the principles of “lean construction” contributes to reducing labour costs and consumption of building materials, increasing productivity and improving quality; the development and implementation of technology depends on the final goal and task of the project, implies a sequence of decision-making.

Results. In the course of the research, an algorithm for making specific decisions was developed. To achieve this goal, an analysis of the technology of monolithic housing construction was carried out, the moments that have a direct impact on increasing the duration of construction and possible losses were identified, and options for making changes that contribute to solving these problems were proposed.

Conclusions. The proposed work organization system may have great potential in the future, despite its simplicity. The developed technical and technological solutions aimed at a lean attitude in production and organization of construction will greatly contribute to improving the competitiveness of construction companies, reducing the cost of production by reducing direct costs, increasing productivity and improving product quality. The stages of further implementation will be built entirely on the justification and development of a lean construction management model, and steps to implement this system, determining the area of responsibility of each participant.

KEYWORDS: labour productivity, labour costs, losses, lean construction, lean manufacturing, monolithic construction

Acknowledgments. Glavstroy-Regions expresses gratitude to the reviewers who positively assessed this work.

FOR CITATION: Ryazantseva N.V., Zolotarev V.V. Formation of an effective schedule of work during the construction of a monolithic reinforced concrete house. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(10):1676-1686. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1676-1686 (rus.).

Corresponding author: Nadezhda V. Ryazantseva, nrozanceva@lan.spbgasu.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Общепринятые методы организации строительства базируются на многолетнем опыте производства работ, но в сложившейся экономической ситуации они не позволяют строительным компаниям получать достаточные дивиденды для успешной конкуренции на рынке. Льготные программы, в том числе и по ипотеке, позволившие увеличить прибыль многим строительным компаниям, с июля 2024 г. будут значительно сокращаться. Эти обстоятельства требуют кардинального пересмотра многих ранее принятых методов ведения работ и внедрения бережливого производства.

Теоретические постулаты этой разработки наиболее подробно были в свое время описаны Джеймсом П. Вумekom и Дэниелом Т. Джонсом [1, 2]. Данная концепция начала разрабатываться в сложнейших условиях после Второй мировой войны компанией Toyota, что позволило ей совершить практически невозможное на тот промежуток времени — поднять производство с максимальной отдачей и минимальными затратами ресурсов.

Разработчик концепции Тайити Оно говорил: «Рассматривая промежуток времени с того момента, когда покупатель делает заказ, и заканчивая получением оплаты, избегая лишних издержек, мы сокращаем это время» [3, 4]. Основная идея бережливого производства заключается в исключении лишних затрат и ресурсов путем сокращения потерь, тем самым повышается производительность и улучшается качество продукции [5]. Разработанная Тайити Оно концепция выделяла семь видов потерь: излишние запасы материалов; лишние технологиче-

ские операции; излишняя обработка; простои из-за ожидания в результате появления технических и технологических перерывов; излишняя транспортировка в случае неграмотного расположения мест складирования; наличие брака, исправлений; и перепроизводство при отправлении продукции на длительное хранение в случае отсутствия покупательского спроса. Бережливое строительство — это один из вариантов применения концепции бережливого производства¹, но в отличие от массового конвейерного производства в данном случае любой проект является индивидуальным, требующим конкретизации каждого решения. Сложность внедрения этой системы с целью уменьшения затрат, оптимизации процессов без ухудшения качественных и эксплуатационных показателей состоит в необходимости обязательной заинтересованности каждого работника. Была выдвинута гипотеза о *невозможности сразу взять под контроль весь процесс производства — всю стройку, ввиду большого объема разнохарактерных работ, но можно качественно и грамотно выполнять работы на конкретно взятом участке с целью внедрения принципов бережливого строительства.*

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования выбрано строительство многоэтажного монолитного жилого дома в Санкт-Петербурге. Обращение к указанной

¹ ГОСТ Р 56906–2016. Бережливое производство. Организация рабочего пространства (5S). URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200133736>

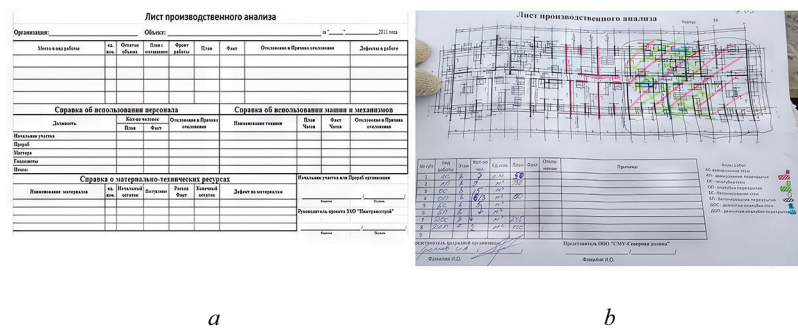


Рис. 1. Лист производственного анализа: а — вариант разработки (лист производственного анализа учитывает местоположение объекта и вид работ, справки об использовании персонала, машин и механизмов, объеме использованных материально-технических ресурсов); б — пример заполнения листа производственного анализа

Fig. 1. Production analysis sheet: а — development option (the production analysis sheet takes into account the location of the facility and the type of work, information on the use of personnel, machines and mechanisms, the amount of material and technical resources used); б — example of filling in the production analysis sheet (LPA)

концепции обусловлено существенными задержками на подготовительном этапе строительства, вызвавшими позднее начало производства работ и отставание от тендерных от 26 дней до 3 месяцев, необходимостью сокращения отставания от графика во избежание срыва сроков строительства корпусов.

Цели работы:

1) на основании проведенных аналитических и экспериментальных исследований разработать проект работ по устройству монолитного каркаса с нормативным сроком строительства 9,7 месяцев, позволяющий без нарушения технологии строительства сократить продолжительность выполнения работ до 8,5 месяцев^{2, 3};

2) сокращение продолжительности подъема монолитного типового этажа каркаса с 14–10 дней до 6 дней.

Для решения таких амбициозных задач было принято решение взять за исходные сведения результаты строительства предыдущих корпусов, а надвижку производить исходя из целей сокращения сроков производства монолитных работ.

На первом этапе с целью выявления проблем и сопутствующих потерь [6] при производстве монолитных работ [7, 8] разработан лист производственного анализа (ЛПА), как инструмент бережливого строительства (рис. 1). В отличие от общего журнала ведения работ, отражающего технологическую последовательность, в ЛПА отражаются сведения о выработке на рабочих местах. Это дает возможность сравнить использование машин, материалов и рабочей силы на местах, плановые и фактические результаты и выявить отклонения.

² СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293730/4293730484.pdf?ysclid=lrfggqc68x928834115>

³ СНиП 1.04.03–85*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений.

Ответственным за монолитные участки было рекомендовано вести ежедневный учет и производить последующие корректировки по итогам прошедших суток в соответствии с выявленными общими показателями.

Наглядность информации — «Визуализация» внесенных данных позволяла в реальном времени по «шахматке» корпусов отслеживать ситуацию. Анализ производства монолитных работ выявил ряд проблем [9, 10], связанных с хранением, организацией и качеством производства строительно-монтажных работ СМР:

- хранение: отсутствие организации рационального размещения материалов, в частности нет отдельного хранения арматурных каркасов и обрезков арматуры, из-за чего: затрудняется свободный доступ к материалам, усложняется номенклатурный поиск, возможны ошибки выбора, увеличивается время сборки заготовок и армирования монтажного горизонта;
- организация: отсутствие поточной организации строительства [11–13]. Возведение арматурных конструкций на монтажном горизонте производилось без привязки к потоку, под арматурные работы выделяется отдельный цикл, в результате затягивается общее время строительства, увеличивается время на ожидание следующих процессов строительства: армирование одного пилона $L = 1200$ мм 2 рабочих производили за 40 мин, армирование одной балки 4 рабочих производили за 4 ч;
- отсутствие предварительной нарезки в наземных условиях и изготовление заготовок на монтажном горизонте добавляет время на выверку, обрезку и подгонку. В результате образуется лишний этап обработки, возникает необходимость выделения времени на ожидание и складирование, увеличивается общий срок строительства и снижается качество СМР, средняя потеря времени на элемент составляет до 14 мин (рис. 2);
- резка заготовок размером больше чертежного «с запасом» требует дополнительных операций: вы-



Рис. 2. Сборка каркасов пилона и балки на монтажном горизонте

Fig. 2. Assembly of the pylon and beam frames on the mounting horizon

верки, подрезки, доводки, уборки отходов, как следствие, появляются дополнительные неучтенные работы, увеличивающие продолжительность строительства, снижающие производительность и качество работ. При этом загромождение территории отходами резки способствует повышению травматизма. Средняя потеря времени на элемент составляет до 30 мин (рис. 2);

- качество производства работ;
- необходимость предварительной разметки.

Любые малейшие отклонения арматурных каркасов от проектного шага — это дополнительные затраты времени на исправление и снижение несущей способности (рис. 3) (средняя потеря времени от 2 до 24 ч на один элемент).

На основании вышеперечисленного выделены основополагающие причины увеличения продолжительности строительства и составлена матрица 4М [14] (рис. 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенный анализ позволил выделить определенную последовательность и составить план мероприятий с последующей их реализацией в программе Spider Project Lite:

1. Переустройство склада арматуры: удобство доступа, адресное хранение номенклатуры.
2. Централизованное производство заготовок в наземных условиях во внешнем цикле: нарезка на захватку, точно в размер, с идентификацией пе-



Рис. 3. Нарушение шага установки стеновых каркасов

Fig. 3. Violation of the installation step of wall frames

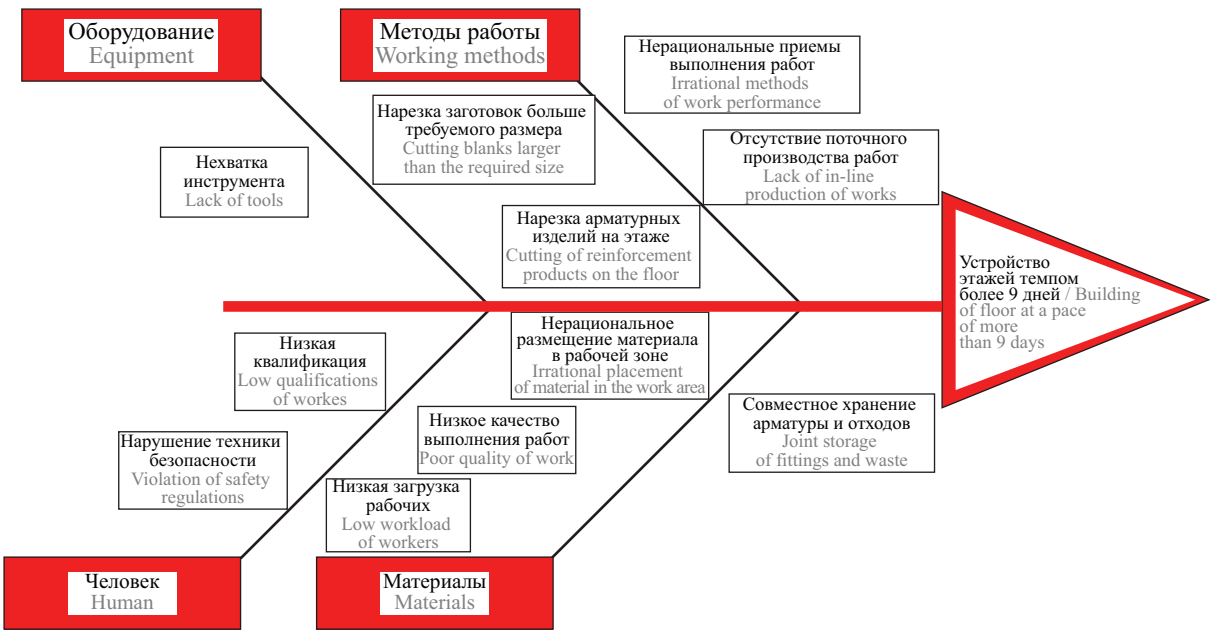


Рис. 4. Выявление и систематизация причин длительности цикла возведения монолитного каркаса типового этажа по диаграмме Исикавы (матрица 4М)

Fig. 4. Identification and systematization of the reasons for the duration of the cycle of construction of a monolithic frame of a typical floor according to the Ishikawa diagram (matrix 4M)

ред отправкой на монтажный горизонт, разделение на потоки выполнение работ (раскладка арматуры по местам сборки — в ночную смену, вязка арматуры — в дневную смену).

3. Организация работы арматурного цеха в соответствии с потоком производства работ по вертикальным и горизонтальным захваткам, заданием (запас в размере одной смены).

4. Разбивка проведения работ на поток с максимальным дроблением по видам работ, маркировкой захваток и зонирование рабочих мест, что позволяет в период выдержки бетона на одном участке вести параллельно укрупнительную сборку отдельных элементов в наземном положении во внешнем цикле¹.

Результат: если ранее на установку и обвязку одного пилона было затрачено 40 мин, то при при-

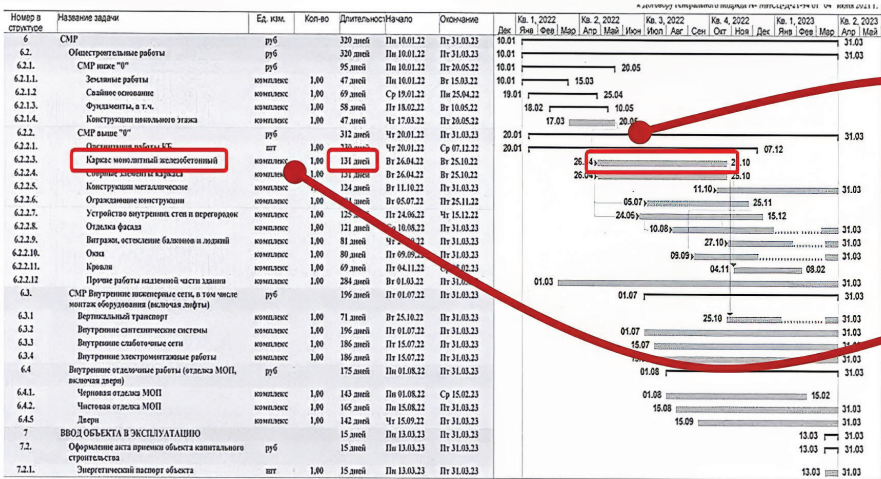


Рис. 5. Определение темпа монтажа конструкций, за номером строки 6.2.2.3 выделен «Каркас монолитный железобетонный». Расчетная продолжительность комплекса составляет 131 день, а принятая определяется временем потока: T_t — время потока; T — полезное производственное время (фонд рабочего времени); V — объем заказа (производственная программа)

Fig. 5. Determination of the rate of installation of structures, line number 6.2.2.3 is followed by “Monolithic reinforced concrete frame”. The estimated duration of the complex is 131 days, and the accepted duration is determined by the flow time: T_t is the flow time; T is the useful production time (working time fund); V is the order volume (production program)

нятой организации работ потребовалось 8 мин, монтаж балки сократился по продолжительности выполнения работ с 4 ч до 5 мин.

5. Этажный горизонт разбит на вертикальные и горизонтальные захватки.

Конструкции разбиты по высоте и в плане на захватки с максимальным разделением по видам работ, что необходимо для организации поточного производства. Проведено экспериментальное тактическое планирование времени [15]. Разработана визуализированная схема захваток⁴ [16].

Размер захватки принят таким, чтобы продолжительность выполнения отдельного вида работ на захватке равнялась одной смене. График разработан в программе Project. Выведена формула и определен темп потока монтажа конструкций (рис. 5).

На основании предварительного расчета темпа монтажа конструкций установлен ритм потока, по-

строен график поточной организации работ по устройству монолитного каркаса с заданным темпом потока 6 дней/этаж [17–19]. Принятое решение позволило достичь поставленной цели без нарушения технологических этапов производства работ и выполнить их в плановые установленные сроки (рис. 6).

6. Разработан ряд мероприятий, способствующих обеспечению качества производства работ:

- для снижения вероятности ошибки при разбивке составляется геодезическая схема координатных осей забивки дюбелей и разбивка горизонтов геодезистами;

- установка арматурных каркасов по шаблону с размещением маяков защитного слоя с целью обеспечения соответствия требованиям по несущей способности и качеству производства работ. Это предотвращает потери по исправлению допущенных ошибок и упрощает сборку конструкций, сокращаются дополнительные трудозатраты от одной смены до минимальных показателей, приравненных к 0 ч;

⁴ ГОСТ Р 56907–2016. Бережливое производство. Визуализация.

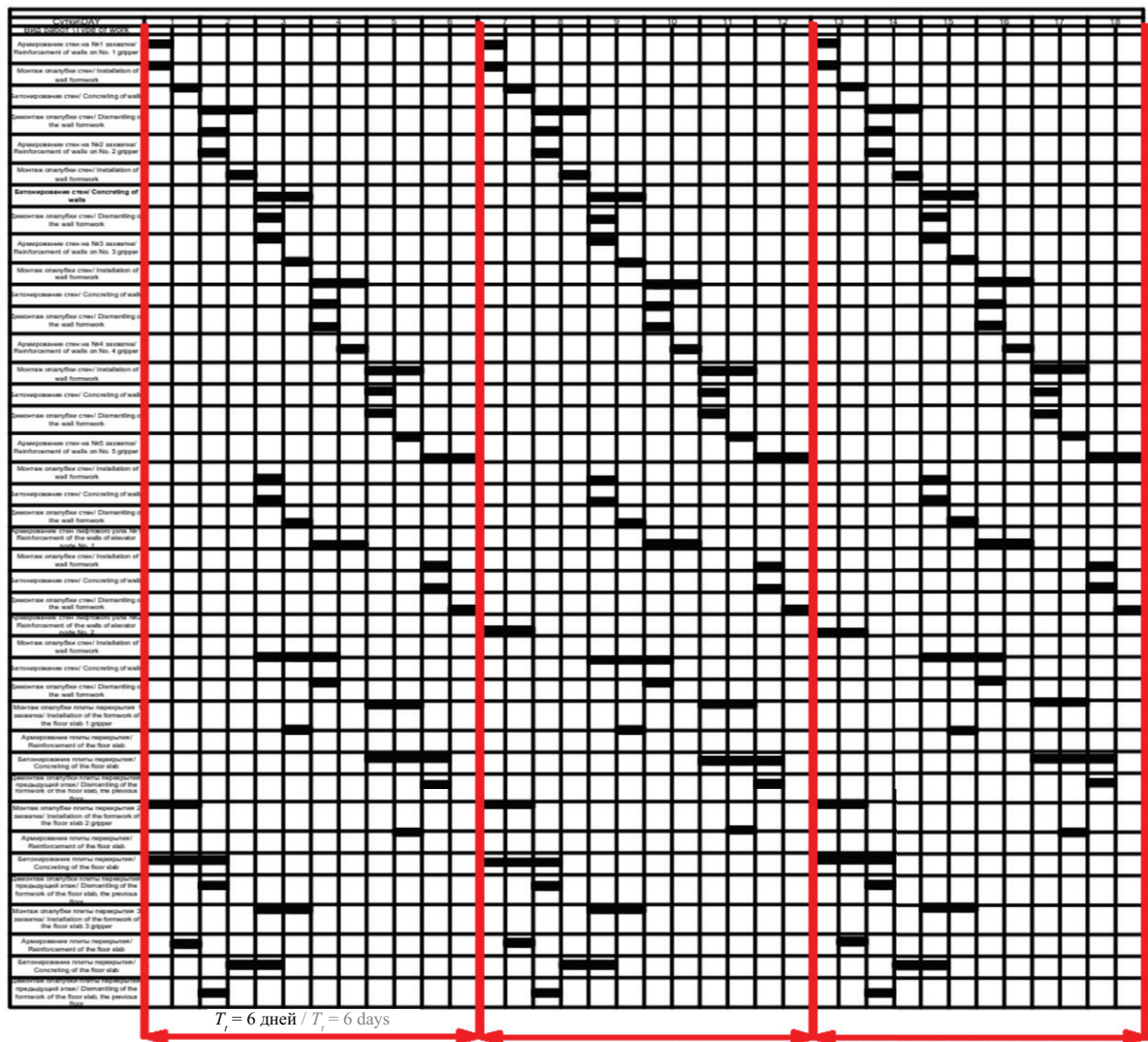


Рис. 6. Целевой график с темпом 6 дней на этаж

Fig. 6. Target schedule with a rate of 6 days per floor

- организация и поддержание порядка на рабочем месте, включая такие этапы, как сортировка, стандартизация, соблюдение порядка и чистоты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведен анализ эффективности СМР по возведению монолитного каркаса многоквартирного жилого дома.

Определены ресурсные потери при производстве работ, разработаны мероприятия по устранению этих потерь и повышению эффективности строительства. Формирование ежедневного задания, расчет потребности материалов позволили сократить потери материалов и простои.

Установлено влияние организации потока строительных работ на производительность [20, 21]. Выполнена разбивка календарного плана на более мелкие, отдельно взятые операции, что позволило: произвести максимальное совмещение с выбором наиболее эффективных комбинаций различных технологических этапов и сократить продолжительность строительства, не нарушая технологию строительства. Перенос производства работ с монтажных горизонтов в наземные условия, применение предварительной заготовки, шаблонов, укрупнительной сборки в наземных условиях также способствовали выполнению поставленной цели.

Произведена апробация разработанных мероприятий.

Разработка алгоритма организации проекта производства работ, направленного на сокращение сроков и стоимости работ, а также повышение качества продукции дали возможность принять ряд практических и технологических решений, которые в конечном итоге будут способствовать достижению поставленной цели — организации бережливого строительства [22].

В качестве приложения к договору подряда разработана технологическая карта на производство монолитных работ. Информация о технологических аспектах данной технологической карты была доведена до всего рабочего коллектива. Указанные в ней требования обязательны к исполнению и содержат полный перечень процессов и средств производства, а также график выполнения работ⁵ [23].

Выработанный стандарт технологической карты позволяет оптимизировать проведение работ и повысить их качество.

Результаты проделанной работы отображены на рис. 7 и в таблице.

Установление темпа потока способствовало уточнению и разработке календарного плана, обеспечивающего своевременное и эффективное производство работ [24].

⁵ Чередниченко Н.Д., Пугач Е.М., Ефимов В.В., Базанов В.Е. Проект производства работ на возведение многоэтажного жилого дома : учебно-методическое пособие // Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. М. : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020.

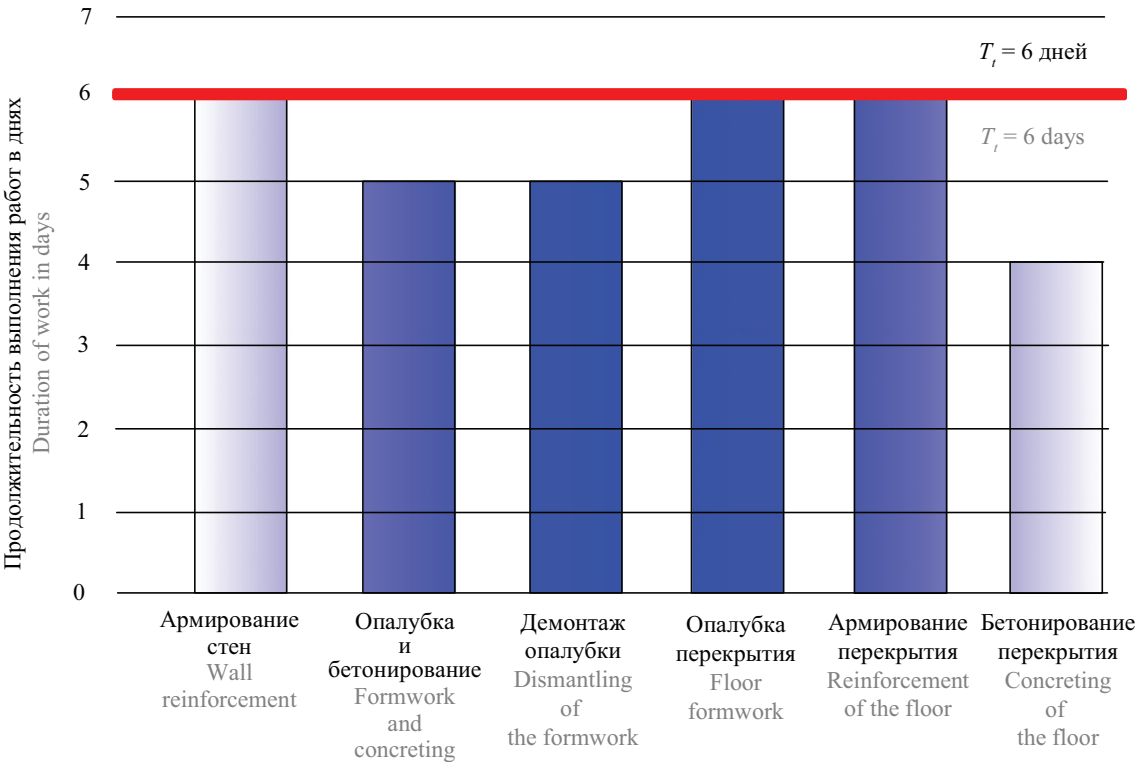


Рис. 7. Диаграмма сбалансированной работы над типовым этажом

Fig. 7. Diagram of balanced work on a typical floor

Результаты работы по возведению монолитного каркаса

The results of the work on the construction of a monolithic frame

Корпуса Building	Проведение тендера по плану / Conducting a tender for works according to the plan	Проведение тендера по факту / Conducting a tender for work on the fact	Отставание от графика тендеров, дни The backlog from the schedule of work according to tenders in days	Начало монолитных работ по плану The beginning of monolithic works according to the plan	Количество дней нормативного производства СМР по графику / The number of days of standard production of construction and installation works according to the schedule	Смещение графика начала работ, дни Offset of the work start schedule in days	Начало СМР по факту / The beginning of construction and installation works after the fact	Завершение СМР по факту / Completion of construction and installation works upon completion	Количество дней СМР по факту / The number of days of construction and installation work duration in fact	Сокращение продолжительности работ от применения данного решения в днях Reduction of the duration of work from the application of this solution in days
34	07.11.19	02.12.19	26	16.12.19	290	19	13.12.19	26.08.20	258	32
35						36	21.01.20	23.09.20	247	43
36						26	11.01.20	05.10.20	269	21
39	09.01.20	05.03.20	57	17.02.20	288	38	17.03.20	29.10.20	227	61

Пилотными корпусами были № 34–36, 39, поставленные задачи по организации и эффективному ведению работ на них были полностью выполнены.

Данная работа подтверждает, что бережливое производство подходит для всех отраслей. Оно направлено на создание более эффективных и устойчивых строительных проектов, которые отвечают потребностям клиентов и окружающей среды, а также сокращают затраты для всех участников.

Разработаны мероприятия по устранению потерь и повышению эффективности строительства путем внедрения инструментов бережливого производства.

Однако эта система имеет ряд затруднений, несмотря на обоснование необходимости применения, в первую очередь эти затруднения связаны с привычками и стереотипами, выработанными участниками строительства [25].

Научная новизна работы заключается в разработке, апробации и последующем внедрении мероприятий, которые позволили сократить продолжительность строительства, не нарушая его технологию; оперативно принимать решения по конкретной ситуации; вести полный контроль как расхода строительных материалов, так и возможных по-

терь, или не направленных на выполнение основных задач трудозатрат, с целью повышения технико-экономических показателей строительства. Принятые решения дали возможность контролировать как отдельные участки или направления, так и объект в целом, тем самым внедрив инструментарий бережливого производства.

В процессе работы над проектом разработаны и внедрены технологическая карта на производство монолитных работ при строительстве многоэтажного жилого дома и принятый ООО «Главстрой-СПб» «Стандарт выполнения монолитных и кладочных работ на объектах» ООО «Главстрой-СПб специализированный застройщик».

Предлагаемая система организации работ может иметь большой потенциал для применения в будущих исследованиях, несмотря на свою простоту. Этапы дальнейшего внедрения будут выстраиваться всецело на обосновании и разработке модели управления бережливым строительством и шагов по внедрению данной системы, а также определении зоны ответственности каждого участника, так как на сегодняшний день выбор методов управления строительством в большей мере зависит от опыта и профессионализма руководителя.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Вумек П.Д., Джонс Д.Т. Бережливое производство: как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. 12-е изд. М. : Приоритет, 2021. 478 с.

2. Womack J.P., Jones D.T. Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Revised and Updated Hardcover. Free Press, 2003. 396 p.

3. *Taiichi O.* Производственная система Тойоты: уходя от массового производства. 3-е изд. М. : Институт комплексных стратегических исследований, 2008. 194 с.

4. *Taiichi Ohno.* Taiichi Ohnos Workplace Management: Special 100th Birthday Edition. McGraw Hill, 2012. 208 p.

5. *Киселев И.* У истоков Бережливого производства. 2011. URL: <https://tobetter.ru/lean/u-istokov-berezhlivogo-proizvodstva/>

6. *Arashpour M., Arashpour M.* Analysis of workflow variability and its impacts on productivity and performance in construction of multistorey buildings // *Journal of Management in Engineering*. 2015. Vol. 31. Issue 6. DOI: 10.1061/(asce)me.1943-5479.0000363

7. *Ланидус А.А., Демидов Л.П.* Исследование факторов, влияющих на показатель потенциала строительной площадки // *Вестник МГСУ*. 2014. № 4. С. 160–166.

8. *Асаул М.А., Рыбнов Е.И.* Формирование интегрированных структур для реализации инвестиционно-строительных проектов // *Вестник гражданских инженеров*. 2008. № 3 (16). С. 97–101. EDN JVRZAR.

9. *Болотин С.А., Биче-оол Х.В., Бохан Х.А., Хурейни Н.К.Р.* Прикладные аспекты энтропийного показателя оценки актуального графика строительства // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 4 (93). С. 65–72. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72. EDN XVUERA.

10. *Sacks R.* What constitutes good production flow in construction? // *Construction Management and Economics*. 2016. Vol. 34. Issue 9. Pp. 641–656. DOI: 10.1080/01446193.2016.1200733

11. *Ланидус А.А.* Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта // *Вестник МГСУ*. 2014. № 1. С. 175–180.

12. *Ланидус А.А., Степанов А.Е.* Формирование организационно-технологических параметров эффективности возведения монолитных конструкций многоэтажных жилых зданий // *Наука и бизнес: пути развития*. 2019. № 2 (92). С. 128–131. EDN YYTCYX.

13. *Степанов А.Е.* Поточный метод организации работ при устройстве монолитных конструкций жилых зданий // *Наука и бизнес: пути развития*. 2019. № 5 (95). С. 172–173. EDN MJZYMZ.

14. *Liliana L.* A new model of Ishikawa diagram for quality assessment // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 161. P. 012099. DOI: 10.1088/1757-899X/161/1/012099

15. *Linnik M., Berghede K.* An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work // 21st

Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 2013.

16. *Болотин С.А., Аль-Жанаби М.А., Бохан Х.А.* Прогнозирование окончания строительства на основе моделирования нелинейной зависимости от задержек отдельных работ // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 2 (91). С. 83–90. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-2-83-90. EDN OGVLBZ.

17. *Болотин С.А., Бохан Х.А.* Нейтрализация задержек работ на основе анализа графиков строительства, сформированных методом неопределенных ресурсных коэффициентов // *Вестник гражданских инженеров*. 2022. № 1 (90). С. 48–54. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-48-54. EDN QINEIU.

18. *Юдина А.Ф., Григорьев С.Ю., Величкин В.З.* Использование BIM-технологий для контроля качества проектов строительной инфраструктуры // *Вестник гражданских инженеров*. 2020. № 2 (79). С. 132–137. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-132-137. EDN NLIPBT.

19. *Murguia D., Rathnayake A., Middleton C.* Master schedule optimisation with the use of flowlines and performance data // *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2023. Pp. 1463–1474. DOI: 10.24928/2023/0121

20. *Rathnayake A., Murguia D., Middleton C.* Analysing the impact of construction flow on productivity // *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2023. DOI: 10.24928/2023/0172

21. *Tommelein I.D., Singh V.V., Coelho R.V., Lehtovaara J.* So Many Flows! // *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2022. Pp. 878–889. DOI: 10.24928/2022/0199

22. *Муря В.А., Ланидус А.А.* Влияние комплексного показателя качества организационно-технологических решений на конструктивные элементы многоэтажных железобетонных зданий // *Перспективы науки*. 2018. № 9 (108). С. 27–30. EDN YIZQSD.

23. *Петрова Т.М., Смирнова О.М.* Бетоны с повышенной ранней прочностью на основе портландцементов ПЦ500-Д0-Н и ЦЕМ 1 42,5Н // *Вестник гражданских инженеров*. 2011. № 4 (29). С. 91–96. EDN OPBYMD.

24. *Ланидус А.А.* Формирование интегрального потенциала организационно-технологических решений посредством декомпозиции основных элементов строительного проекта // *Вестник МГСУ*. 2016. № 12. С. 114–123. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.114-123

25. *Белова Н.Е., Долгов А.А., Петров А.А., Токунова Г.Ф., Харитонович А.В.* Современные проблемы управления региональным инвестиционно-строительным комплексом. СПб. : СПбГАСУ, 2013. 144 с. EDN TXYNMX.

Поступила в редакцию 27 февраля 2024 г.

Принята в доработанном виде 27 мая 2024 г.

Одобрена для публикации 26 июня 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Надежда Владимировна Розанцева — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры организации строительства; Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ); 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4; SPIN-код: 7138-7182, РИНЦ ID: 870835, Scopus: 57205443634, ORCID: 0009-0008-1341-4743; nrozanceva@lan.spbgasu.ru;

Владимир Викторович Золотарев — директор по производственной системе; Главстрой-Регионы; 119034, г. Москва, ул. Тверская, д. 6, стр. 2; zolotonn@mail.ru.

Вклад авторов:

Розанцева Н.В. — обработка материала, написание статьи, научное редактирование текста.

Золотарев В.В. — сбор и предоставление материала.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Vumek P.D., Jones D.T. *Lean manufacturing: How to get rid of losses and achieve prosperity for your company*. 12th ed. Moscow, Priority, 2021; 478. (rus.).
2. Womack J.P., Jones D.T. *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation. Revised and Updated Hardcover*. Free Press, 2003; 396.
3. Taiichi O. *Toyota Production System. Moving away from mass production*. 3rd ed. Moscow, Institute of Integrated Strategic Studies, 2008; 194. (rus.).
4. Taiichi Ohno. *Taiichi Ohnos Workplace Management: Special 100th Birthday Edition*. McGraw Hill, 2012; 208.
5. Kiselyov I. *At the origins of Lean production*. 2011. URL: <https://tobetter.ru/lean/u-istokov-ber-ezhlivogo-proizvodstva/> (rus.).
6. Arashpour M., Arashpour M. Analysis of workflow variability and its impacts on productivity and performance in construction of multistory buildings. *Journal of Management in Engineering*. 2015; 31(6). DOI: 10.1061/(asce)jme.1943-5479.0000363
7. Lapidus A.A., Demidov L.P. Investigation of the Factors Influencing the Potential Indicator of a Construction Site. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014; 4:160-166. (rus.).
8. Rybnov E.I., Asaul M.A. Formation of integrated structures for the implementation of investment and construction projects. *Bulletin of Civil Engineers*. 2008; 3(16):97-101. EDN JVRZAR. (rus.).
9. Bolotin S.A., Biche-ool H.V., Bohan Kh.A., Huraini N.Q.R. Applied aspects of the entropy indicator of the current construction schedule assessment. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 4(93):65-72. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-4-65-72. EDN XVUERA. (rus.).
10. Sacks R. What constitutes good production flow in construction? *Construction Management and Economics*. 2016; 34(9):641-656. DOI: 10.1080/01446193.2016.1200733
11. Lapidus A.A. Efficiency Potential of Management and Technical Solutions for a Construction Object. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2014; 1:175-180. (rus.).
12. Lapidus A.A., Stepanov A.E. Formation of organizational and technological parameters of efficiency in construction of cast-in-situ structures of high-rise residential buildings. *Science and Business: Ways of Development*. 2019; 2(92):128-131. EDN YYTCYX. (rus.).
13. Stepanov A.E. The line production method for in-situ construction of residential buildings. *Science and Business: Ways of Development*. 2019; 5(95):172-173. EDN MJZYM. (rus.).
14. Liliana L. A new model of Ishikawa diagram for quality assessment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016; 161:012099. DOI: 10.1088/1757-899X/161/1/012099
15. Linnik M., Berghede K. An experiment in takt time planning applied to non-repetitive work. *21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2013
16. Bolotin S.A., Al-Janabi M.A., Bohan Kh.A. Forecasting of the construction completion based on the modeling of nonlinear dependence on delays of individual works. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 2(91):83-90. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-2-83-90. EDN OGVLBZ. (rus.).
17. Bolotin S.A., Bohan Kh.A. Neutralization of work delays based on the analysis of construction schedules formed by the method of undetermined resource coefficients. *Bulletin of Civil Engineers*. 2022; 1(90):48-54. DOI: 10.23968/1999-5571-2022-19-1-48-54. EDN QINEIU. (rus.).
18. Yudina A.F., Grigoryev S.Yu., Velichkin V.Z. Using of BIM technologies for quality control of construction infrastructure projects. *Bulletin of Civil Engineers*. 2020; 2(79):132-137. DOI: 10.23968/1999-5571-2020-17-2-132-137. EDN NLIPBT. (rus.).
19. Murguia D., Rathnayake A., Middleton C. Master schedule optimisation with the use of flowlines and performance data. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2023; 1463-1474. DOI: 10.24928/2023/0121
20. Rathnayake A., Murguia D., Middleton C. Analysing the impact of construction flow on productivity. *Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. 2023. DOI: 10.24928/2023/0172
21. Tommelein I.D., Singh V.V., Coelho R.V., Lehtovaara J. So Many Flows! *Annual Conference of the Inter-*

national Group for Lean Construction. 2022; 878-889. DOI: 10.24928/2022/0199

22. Murya V.A., Lapidus A.A. The influence of the integrated quality indicator of organizational and technological solutions on structural elements of multi-storey reinforced concrete buildings. *Science Prospects*. 2018; 9(108):27-30. EDN YIZQSD. (rus.).

23. Petrova T.M., Smirnova O.M. Concrete with increased early strength based on ordinary Portland cement PC 500-DO-N and CEM I 42,5N. *Bulletin of Civil Engineers*. 2011; 4(29):91-96. EDN OPBYMD. (rus.).

24. Lapidus A.A. Formation of an Integral Potential of Organizational and Technological Solutions through the Decomposition of the Main Elements of a Construction Project. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2016; 12:114-123. DOI: 10.22227/1997-0935.2016.12.114-123 (rus.).

25. Belova N.E., Dolgov A.A., Petrov A.A., Tokunova G.F., Kharitonovich A.V. *Modern problems of management of the regional investment and construction complex*. St. Petersburg, SPbGASU, 2013; 144. EDN TXYNMX. (rus.).

Received February 27, 2024.

Adopted in revised form on May 27, 2024.

Approved for publication on June 26, 2024.

B I O N O T E S: **Nadezhda V. Ryazantseva** — Candidate of Technical Sciences, senior lecturer at the Department of Construction Organization; **Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)**; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., St. Petersburg, 190005, Russian Federation; SPIN-code: 7138-7182, ID RSCI: 870835, Scopus: 57205443634, ORCID: 0009-0008-1341-4743; nrozanceva@lan.spbgasu.ru;

Vladimir V. Zolotarev — Director of Production Systems; **Glavstroy-Regions**; build. 2, 6 Tverskaya st., Moscow, 119034, Russian Federation; zolotonn@mail.ru.

Contribution of the authors:

Nadezhda V. Ryazantseva — material processing, article writing, scientific text editing.

Vladimir V. Zolotarev — collection of material and provision of material.

The authors declare that there is no conflict of interest.