

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.057.47:624.21

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.11.1767-1781

Разработка быстроразвертываемой технологии бескранового монтажа временных пролетных строений

Надежда Владимировна Розанцева

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Необходимость создания технологии быстрого монтажа временных мостов в чрезвычайных ситуациях привела к разработке нового метода бескранового монтажа. Цель исследования — создание эффективной технологии монтажа сборно-разборного временного большепролетного строения для быстрой установки в сложных условиях без использования крановой техники. Предложен инновационный подход к монтажу пролетных конструкций с помощью модульной сборки. Технология основана на сочетании действия гидравлических домкратов и лебедки и обладает высокой вариативностью. Дальнейшая разработка открывает новые возможности в области сокращения продолжительности обустройства временных проездных/проходных мостов в случае возникновения непредвиденных ситуаций.

Материалы и методы. Исследованы традиционные методы монтажа. Выбрано оптимальное конструктивное решение — перекрестно-балочное из композитных материалов на основании проведенных расчетов в программе SCAD, использованное в качестве грузовой нагрузки при расчете подъемных гидроцилиндров. Разработана технология бескранового монтажа с подъемной рамой на рельсовых направляющих. Расчетами подтверждено, что данное решение технически осуществимо, обладает необходимым запасом прочности, надежности и безопасности эксплуатации.

Результаты. Созданы конструкции временных пролетов из композитных материалов с узлами точной стыковки. В программе SCAD++ выполнено 3D-моделирование и анализ нагрузок. Выбрана оптимальная перекрестно-балочная конструкция. Создан внешний корпус для транспортировки и монтажа. Технология адаптирована для работы с землей или водой, с целью синхронности производства работ на системе предполагается установка компьютерного управления, подходит для городской застройки и чрезвычайных ситуаций. Внедрение технологии сокращает сроки монтажа и стоимость строительства, в том числе и за счет экономии от неприменения тяжелой спецтехники, на 15–25 %.

Выводы. Разработана технология бескранового монтажа мостовых пролетов до 50 м с применением гидравлических домкратов и лебедок. Технология дает возможность быстро монтировать конструкции в любых условиях, включая аварийное восстановление. Верхнее ортотропное покрытие увеличивает несущую способность и предотвращает скольжение транспорта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бескрановый монтаж, перекрестно-балочные пролеты, перекрестно-стержневые пролеты, ортотропное покрытие, композитные материалы, модульная сборка, гидравлические домкраты, лебедки

Благодарности. Статья публикуется по результатам выполнения гранта НПР СПбГАСУ 2025 г. Автор выражает благодарность ООО «ПЕРИ», а также рецензентам.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Розанцева Н.В. Разработка быстроразвертываемой технологии бескранового монтажа временных пролетных строений // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 11. С. 1767–1781. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.11.1767-1781

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

Development and optimization of technology for crane-free installation of bridge superstructures

Nadezhda V. Rozantseva

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

ABSTRACT

Introduction. The need to create a technology for the rapid installation of temporary bridges in emergency situations has led to the development of a new method of crane-free installation. The purpose of the work is to create an effective technol-

ogy for the installation of a collapsible temporary large — span structure for quick installation in difficult conditions without the use of crane equipment. Scientific novelty — an innovative approach to the installation of superstructures using modular assembly is proposed. The technology is based on a combination of hydraulic jacks and a winch and is highly variable. Further development opens up new opportunities for reducing the duration of temporary road/footbridge construction in the event of unforeseen situations.

Materials and methods. Traditional installation methods were studied. The optimal design solution was selected — a cross-beam made of composite materials based on calculations performed in the SCAD programme, used as a load when calculating lifting hydraulic cylinders. A crane-free mounting technology with a lifting frame on rail rails was developed. Calculations have confirmed that this solution is technically feasible and has the necessary margin of safety, reliability and safety of operation.

Results. Temporary span structures made of composite materials with precise docking points have been created. The SCAD++ programme performs 3D modelling and load analysis. The optimal cross-beam structure was selected. An external housing was developed for transportation and installation. The technology is adapted to work from land or water, computer control is supposed to be installed on the system for synchronicity of work, and it is suitable for urban development and emergency situations. The introduction of the technology reduces the time of installation and the cost of construction, including by saving from the non-use of heavy machinery by 15–25 %.

Conclusions. The technology of crane-free installation of bridge spans up to 50 m using hydraulic jacks and winches has been developed. The technology allows you to quickly mount structures in any conditions, including disaster recovery. The upper orthotropic coating increases the load-bearing capacity and prevents vehicles from sliding.

KEYWORDS: frameless mounting, cross-girder spans, cross-rod spans, orthotropic coating, composite materials, modular assembly, hydraulic jacks, winches

Acknowledgments. The article is published based on the results of the implementation of the grant of the scientific and practical work of SPbGASU in 2025. The author expresses gratitude to “PERI” LLC and the reviewers.

FOR CITATION: Rozantseva N.V. Development and optimization of technology for crane-free installation of bridge superstructures. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(11):1767-1781. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.11.1767-1781 (rus.).

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

ВВЕДЕНИЕ

Мостостроение — уникальное сочетание инженерного искусства и архитектуры. Оно имеет глубокие исторические корни и является одним из самых сложных видов строительства. Каждый мост, от пешеходного до железнодорожной эстакады, требует тщательного планирования, современных технологий и детальных расчетов. Важно учитывать геологические, экологические и климатические факторы. Процесс строительства длительный, предполагает соблюдение техники безопасности и высокую квалификацию специалистов. Мостостроение отличается выбором специфических материалов и конструктивных решений, а также использованием сложного оборудования и компьютерного моделирования.

Большинство существующих технологий рассчитаны на плановые строительные проекты, но иногда нужны срочные переправы для спасения жизней или быстрой доставки техники. В нестандартных условиях, например в труднодоступных местах без дорог, традиционные методы строительства и доставки оборудования неэффективны.

В таких ситуациях используются самоходные понтонно-мостовые установки и эстакады ИМЖ-500 [1]. Однако они сложны в транспортировке, требуют специализированного оборудования и квалифицированных бригад. Кроме того, ИМЖ-500 содержат множество болтовых соединений [2], что увеличивает время монтажа и риск повреждения при транспортировке.

Актуальность темы обусловлена необходимостью быстрого возведения временных переправ в различных условиях, включая срочные ситуации, стес-

ненные или удаленные условия, где традиционные технологии и оборудование неприменимы или труднодоступны. Следует разработать более простое и быстрое решение для временных переправ, которое можно быстро адаптировать к разным условиям, включая городские застройки и удаленные районы с ограниченной логистикой.

Цель исследования — разработка высокоэффективной технологии монтажа сборно-разборного временного большепролетного строения, позволяющей выполнять монтаж в предельно сжатые сроки, без применения сложного кранового оборудования, в условиях ограниченного пространства, сложного рельефа или экологически уязвимых зон.

Задачи:

- осуществление анализа существующих пролетных строений и основных операций монтажно-демонтажного процесса;
- выбор путем математического моделирования по требуемым параметрам наиболее оптимального конструктивного решения опорного пролета, позволяющего проведение упрощенной ручной или полумеханизированной сборки, снижение веса и высоты конструкции, для обеспечения кратчайших сроков монтажа-демонтажа;
- разработка технологического алгоритма производства работ в заданных условиях с последующим экономическим обоснованием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Каждый мост имеет две основные конструктивные части: опоры и пролетные строения, любое пролетное строение предназначено для передви-

жения по мосту и должно воспринимать заданную нагрузку, передавая ее через опоры на грунты основания. Обустройство различных вариантов опор моста, в свою очередь, делится на концевые устои и промежуточные — быкообразные опоры. Пролет моста измеряется между центрами опорных частей, а полная ширина — между внешними гранями. Существует большое многообразие пролетных конструкций в зависимости от предназначения, условий эксплуатации, требований к воспринимаемой нагрузке, выбор материала для пролетного строения определяется необходимым сроком службы конструкции. Пролетные конструкции включают балочные, ферменные, арочные, рамные, висячие, вантовые и комбинированные решения, сочетающие несколько конструктивных решений, и новейшие разработки, нашедшие применение за рубежом в виде гофрированной вертикальной стенки [3, 4], что дает возможность в некоторой степени увеличить длину пролетного строения.

Монтаж пролетных конструкций моста — это ключевой этап строительства. Выбор метода монтажа определяется множеством факторов: типом моста, условиями местности, доступностью техники, бюджетом и экологическими требованиями. Современные технологии предлагают разнообразные подходы, каждый из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения. Перечислим основные методы бескранового монтажа [5–7].

Навесной монтаж — метод возведения мостов с большими пролетами (вантовые, арочные), подходящий для сложных рельефов. Минимизирует применение опор в водоемах, важен для экологии. Секции собирают от опор к центру пролета, используя временные тросы. Требует высокоточного контроля и дорогостоящего оборудования, но позволяет отказаться от промежуточных опор.

Полунавесной метод сочетает элементы навесного монтажа и монтажа с промежуточных опор. Сначала устанавливаются временные опоры, затем производится монтаж части конструкции навесным способом.

Метод надвигки — пролет собирают на берегу, временной площадке или опоре, а затем перемещают на место с помощью домкратов и направляющих. Подходит для больших пролетов или в условиях ограниченного доступа техники. Требует прочных опор и дорогостоящего оборудования, но дает возможность строить без остановки движения под мостом и сокращает сроки на 30 %.

Метод продольной надвигки — пролетная конструкция собирается на одном конце и надвигается на опоры с помощью катков и домкратов. Это ускоряет и удешевляет строительство, снижает риски, улучшает качество сборки на земле, но требует противовеса, выравнивания направляющих и сложных тяговых устройств. Метод не подходит для сложных мостовых пролетов. Частично он применен при строительстве Крымского моста [8, 9].

Монтаж на стапеле с последующей перевозкой — один из передовых методов. Элементы конструкции создаются и собираются в производственных условиях, а затем транспортируются к месту установки. Этот метод позволяет существенно ускорить процесс строительства.

Метод сборки на подмостях — пролет собирается на временных опорах, которые затем демонтируются и заменяются постоянными. Применяется в труднодоступных местах, где невозможно использовать тяжелую технику, например, при строительстве небольших мостов или реставрации исторических сооружений. Преимущества: низкая стоимость, возможность использования местных материалов.

Разновидности сборки на подмостях:

- ярусная сборка — последовательный монтаж от низа к верху с продольными связями;
- секционная сборка — поэтапная установка и соединение панелей для быстрой сборки;
- комбинированная сборка, начальный этап — низовая сборка, затем — монтаж секций с монтажными связями.

Метод использования плавучих кранов или барж — для строительства мостов через реки и водоемы. Секции транспортируются по воде и монтируются с их помощью.

Также стоит упомянуть современные технологии, например, *модульную сборку*, когда элементы изготавливаются на заводах, доставляются на место и собираются как конструктор, что значительно ускоряет процесс и улучшает качество; *магнитолевитационные системы* [10], *использование вертолетов* для монтажа в труднодоступных и горных районах, а также применение *3D-моделирования* из современных материалов и *VIM-технологий* в совершенствовании монтажных процессов [11], что позволяет оптимизировать процессы и избежать ошибок на этапе проектирования.

Традиционные методы, такие как навесной монтаж или надвигка, остаются актуальными, но развитие технологий открывает новые возможности, и все методы монтажа развиваются и адаптируются под новые условия, например с *использованием мостовых кладчиков* — современное решение для строительства протяженных мостов. Есть разработки специальных машин-монстров, позволяющих быстро возводить мосты с минимальным количеством стыков на дорожном полотне.

Все методы монтажа мостов применяют модульные системы, гидравлические домкраты, лебедки и роботизированные системы для подъема и установки элементов. Однако они сложны в транспортировке и наладке, требуют тяжелой техники и не могут быть мобильными или одновременно использоваться для демонтажа. Это ограничивает их применение в чрезвычайных ситуациях и удаленных районах.

Второй основной вопрос — это выбор конструктивного решения. Неразрезные балочные пролетные

строения, позволяющие равномерно распределить нагрузку, всегда являлись наиболее предпочтительными в мостостроении [12], они значительно легче просчитываются и в программных вариантах, однако логистические и технологические вопросы при возведении данных конструкций не дают возможность их использовать в удаленных, труднодоступных районах, и районах Крайнего Севера или при возникновении ЧС.

В основу разработки были положены требования быстрого монтажа, демонтажа, снижения затрат и отказа от сложного оборудования [13], транспортабельность. Основной материал пролетного строения — углеводородные композиты или типа пултрузионных стеклопластиковых [14, 15], обладающие малым весом, устойчивостью к коррозии и высокой прочностью. С учетом заданных параметров для перекрытия средних пролетов 36 м [16], чтобы не проводить расчет на аэродинамическую устойчивость, были выбраны два наиболее часто встречающихся варианта конструктивного решения с максимальным набором повторяющихся элементов, что позволяет значительно облегчить условия транспортировки, упростить процесс сборки через унификацию конструкции и достигнуть многократного применения — перекрестно-балочная и перекрестно-стержневая конструкции с балками замкнутого сечения, когда основные балки являются лонжеронами, а поперечные — шпангоутами. Ширина моста составляет 9 м, что соответствует двухполосной дороге общего пользования¹, с учетом обочин и пешеходных проходов, как оптимальному решению с техни-

¹ ГОСТ Р 52748–2007. Дороги автомобильные общего пользования. Нормативные нагрузки, расчетные схемы нагружения и габариты приближения. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293836/4293836215.pdf>

ческой и экономической точки зрения. Конструкция предназначена для многократного использования, упрощенной сборки и монтажа без тяжелой техники. Она включает облегченные секции, шарнирные соединения и внутренние торсионы, что снижает транспортные размеры, упрощает логистику и сборку на стройплощадке, а также уменьшает высоту пролетной конструкции. Расчеты выполнены для двух решений с одинаковыми размерами $9 \times 36 \times 3$ м, высота соответствует 1/8–1/12 от длины пролета СП 35.13330.2011². Лонжероны составные, должны отличаться большей жесткостью. Первая перекрестно-стержневая сетчатая пространственная конструкция состоит из горизонтальных труб, шарнирно соединяемых наклонными стержневыми подкосами, образующими в пространстве ячеистую структуру с верхним и нижним элементами в виде сетки, состоящей из квадратов (рис. 1) [17, 18], вторая перекрестно-балочная конструкция — основные балки выполнены из швеллеров, доборные элементы — вставки из прямоугольных труб, подкосы из прямоугольных труб³ (рис. 2). Сборка-разборка и транспортировка конструкций просты и быстры. Заводское изготовление повышает надежность. Конструкция выдерживает нагрузку до 20 т, рассчитанную на проезд груженых самосвалов и тяжелой техники.

Установка дополнительных поперечных решетчатых вставок 4 во второй конструкции может

² СП 35.13330.2011. Мосты и трубы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*. URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293811/4293811024.pdf>

³ Патент RU № 2814086 С1. Сборно-разборное пролетное строение / Юдина А.Ф., Розанцева Н.В.; заявл. № 2023114396 от 31.05.2023. Оpubл. 21.02.2024.

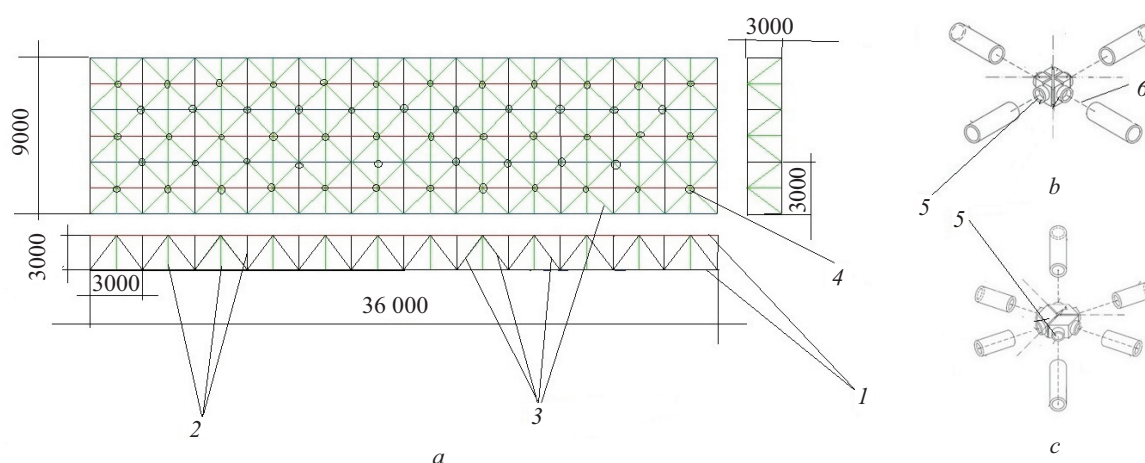


Рис. 1. Перекрестно-стержневая конструкция: 1 — пролетные конструкции из круглых труб 510×10 мм; 2 — трубы стойки, круглые $325(273) \times 10$ мм; 3 — подкосы, круглые трубы $325(273) \times 10$ мм; 4 — узловое соединение (b, c — варианты узловых соединений); 5 — входные отверстия с винтовой системой; 6 — торсионное соединение

Fig. 1. Cross-rod structure: 1 — span structures made of round pipes 510×10 mm; 2 — rack pipes, round $325(273) \times 10$ mm; 3 — struts, round pipes $325(273) \times 10$ mm; 4 — nodal connection (b, c — variants of nodal connections); 5 — inlet openings with screw system; 6 — torsion joint

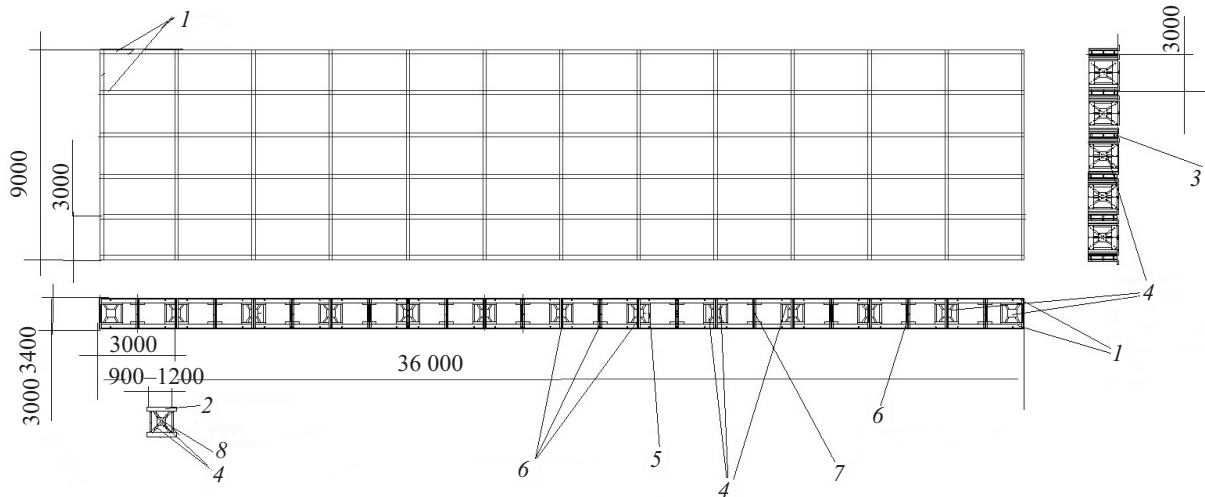


Рис. 2. Перекрестно-балочная конструкция: 1 — пролетная балка (швеллер 400–500 мм); 2 — швеллер на размер меньше основного, чтобы плотно входить в основную конструкцию; 3 — стойка балок лонжеронов, вид сбоку; 4 — вставной элемент усиления из двух перекрещенных подкосов, квадратных труб, сверху на сварную часть которых приварена пластина; 5 — стойки квадратные 150 × 150 × 8; 6 — накладной элемент усиления, устанавливаемый с двух сторон; 7 — стойка складная; 8 — металлическая пластина толщиной около 1 см

Fig. 2. Cross-girder structure: 1 — span beam (channel 400–500 mm); 2 — channel is one size smaller than the main one in order to fit snugly into the main structure; 3 — stand of spar beams, side view; 4 — insert reinforcement element from two crossed struts, square pipes, on top of the welded of which a plate is welded; 5 — square racks 150 × 150 × 8; 6 — overhead reinforcement element installed on both sides; 7 — folding rack; 8 — metal plate about 1 cm thick

быть стандартной или разреженной. Регулируемые по длине пролетные соединения ускоряют монтаж. Грузоподъемность перекрестно-балочной конструкции варьируемая: рассчитанная на пропуск пешеходов или тяжелый транспорт. С целью усиления между балками устанавливают перекрестные связи с талрепами. Сборка проста благодаря унифицированным элементам, симметричным относительно своих осей.

Для возможности самотранспортировки наплывным способом дополнительно разработан внешний корпус — многослойное полотно из композитного материала, которое можно трансформировать из плоского в объемное (рис. 3). Проезжая часть состоит из сборно-разборного ортотропного покрытия (рис. 4) с рифленой поверхностью⁴, закрепляемого перилами высотой не менее 1,1 м. Внешний корпус при временных установках можно не снимать, а для длительного использования его демонтируют. Комплексное предлагаемое решение повышает безопасность пешеходов, предотвращает смещение транспорта, увеличивает несущую способность и сцепление колес, снижая скольжение. Это важно для самотранспортируемых сплавных средств.

⁴ Николенко Д.А., Шрейнер В.С., Кузнецов В.О., Евагян Г.В. Проектирование металлических мостов с ортотропной плитой проезжей части : учебное пособие. Ростов-н/Д : ДГТУ, 2023. 31 с.

Разработанная технология предполагает монтаж системы:

- с использованием сборно-разборных опорных столбов типа МИК-С⁵ [19] или системы PERI в случае отсутствия несущих опор (рис. 5);
- на подготовленное заранее или существующее основание (рис. 6).

Опорные столбы 19 состоят из рядовых рам с диагональными связями 20, которые могут быть снабжены проходными настилами. Рамы соединяются фиксаторами-шпинделями 25. Столб опирается на нижние стопы и завершается опорными головками для монтажа лебедок 6. Для обеспечения устойчивости при высоких нагрузках предусмотрена дополнительная горизонтальная опора с перфорацией 22, по которой движется каретка 24 подкосной системы 23, позволяя плавно отодвигать систему для монтажа и настройки. Каретка надежно фиксируется в любом положении без вспомогательных устройств или на шпindelъ.

При основном способе монтажа в готовое основание с заранее определенным шагом заделываются анкерные крепления, закрепляемые особыми клеями и соединяемые анкерным башмаком, на который будет монтироваться опорное гнездо для удержания направляющих рельсов.

⁵ Мостовые инвентарные конструкции стоечные МИК-С. URL: <https://vzcons.ru/miks/>

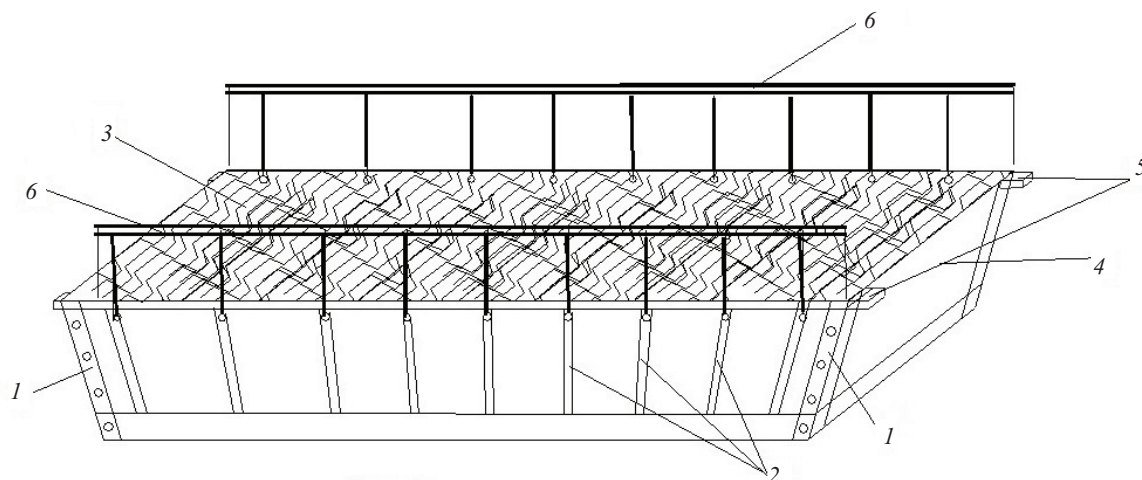


Рис. 3. Полносборный корпус из композитного материала с установленным ортотропным покрытием и перилами: 1 — боковой специальный клапан, шивочный элемент внешнего корпуса с отверстиями, позволяющий дополнительно жестко стянуть корпус; 2 — специальные каналы, позволяющие после полной сборки установить в них ограждающее устройство с перилами; 3 — ортотропный элемент покрытия; 4 — полностью собранный внешний корпус; 5 — проушинное устройство для возможного соединения нескольких пролетов при устройстве понтонной переправы, или при транспортировке пролета к месту монтажа; 6 — внешнее ограждение с перилами

Fig. 3. Fully assembled composite housing with an orthotropic coating and handrails installed: 1 — special side valve, stitching element of the outer casing, with holes, allowing additional rigid tightening of the casing; 2 — special channels allowing, after complete assembly, to install an enclosing device with handrails in them; 3 — orthotropic coating element; 4 — fully assembled external body; 5 — eyelet device for the possible connection of several spans when installing a pontoon ferry, or when transporting the span to the installation site; 6 — external fence with handrails

Опорные гнезда монтируются с шагом, позволяющим закрепить направляющие рельсы 2 не менее чем по двум точкам для подъема корпуса подъемной опорной домкратной рамы 11 и вторую рельсовую систему для передвижения подъемника с домкратной системой 10, закрепляемую также по двум точкам по длине рельса. Рельсовая система монтируется снизу вверх, состоит из нескольких секций, соединенных вертикальными концами, что дает возможность создать конструкцию нужной высоты, и выравнивается отвесом или лазером. Анкеры 3 при съеме системы не извлекаемые и остаются в основании навсегда. В данном случае может быть применено стопорное контролирующее устройство с гидравлическим домкратным подъемником системы PERI типа RCS, имеющее на каретках откидные лапки и стопорный элемент, соединяющийся сквозь перфорацию навесного направляющего рельса, что страхует навесную часть от возможного скольжения и позволяет снимать/навешивать направляющие с боку, что облегчает первое навешивание, и отпадает необходимость пропускать рельсы первых 2 и вторых направляющих через опорные гнезда при навешивании.

Установка грузонесущего узла:

- на верхнюю полку системы устанавливаются лебедки с барабанами, блоки уравнильно-

го устройства и два каната 8, намотанных каждый на отдельный барабан 7 для каждого из канатов 8;

- канаты наматываются на барабаны, блоки расположены по противоположным сторонам рамы.

Корпус подъемной опорной домкратной рамы 11 включает верхнюю и нижнюю последовательно соединенные опоры, верхнее устройство снабжено несущими крюками и опорным блоком для подъема рамы с грузом, в том числе и с помощью вертикального гидравлического цилиндра 10; нижнее устройство — опора 15 для удержания и подъема крупногабаритного груза 18 содержит не менее двух

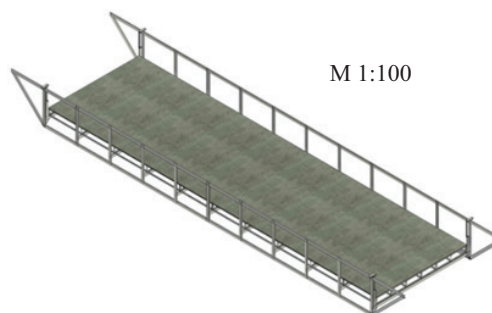


Рис. 4. Вид ортотропного покрытия с перилами в масштабных размерах

Fig. 4. View of the orthotropic covering with handrails in large-scale dimensions

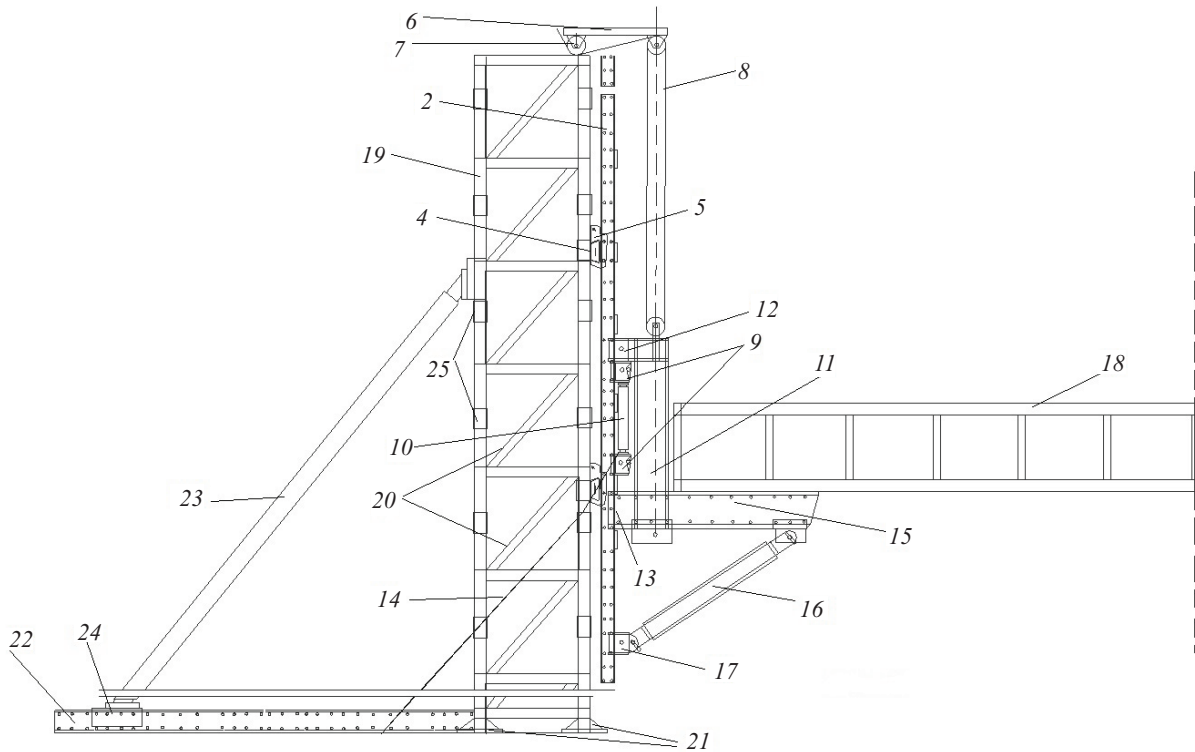


Рис. 5. Вид сбоку, подъем конструкции с установкой опорных колонн: 2 — направляющий рельс; 4 — несущая часть подъемного устройства; 5 — опорное гнездо; 6 — лебедочная система; 7 — барабан лебедки; 8 — лебедочный трос; 9 — стопорное контролирующее устройство; 10 — домкратная система; 11 — рама; 12 — верхняя каретка; 13 — нижняя подъемная каретка; 14 — система тросов с двигателем; 15 — опора подъемной рамы; 16 — подкос; 17 — направляющая каретка подкоса; 18 — поднимаемая конструкция; 19 — опорная башня; 20 — подкосы; 21 — опорные стопы; 22 — горизонтальная опора; 23 — подкос опоры; 24 — каретка опоры; 25 — фиксаторы

Fig. 5. Side view, lifting of the structure with the installation of support columns: 2 — guide rail; 4 — bearing part of the lifting device; 5 — support socket; 6 — winch system; 7 — winch drum; 8 — winch cable; 9 — locking control device; 10 — jack system; 11 — frame; 12 — upper carriage; 13 — lower lifting carriage; 14 — cable system with motor; 15 — lifting frame support; 16 — footrest; 17 — guide carriage of the strut; 18 — lifting structure; 19 — support tower; 20 — struts; 21 — support feet; 22 — horizontal support; 23 — support slope; 24 — support carriage; 25 — clamps

подкосов с гидравлическими стержнями 16 и шарнирным креплением одним концом к подъемной раме, а другим — к рельсовой конструкции на скользящей по внешним направляющим кареткой 17. Корпус подъемной опорной домкратной рамы 11 имеет жесткую сварную конструкцию и рассчитывается на восприятие всех нагрузок, воспринимаемых от опираемых на них поднимаемых конструкций 18. Подъемный модуль интегрируется с корпусом подъемной рамы, устанавливается на рельсовую систему и скользит по ней в процессе подъема. Привод подъемника включает домкратные поршни, механизмы контроля горизонтальности и стопорные устройства, предотвращающие обратный ход.

Монтаж подъемного модуля:

- привод, включающий в себя подъемный механизм — один или более линейных домкратных поршней 10, соединенных последовательно между собой, устанавливается на подъемную раму, соединяется с рельсами;

- подъем осуществляется первоначальным толчковым движением лебедочной системы и путем последовательного выдвижения поршней;

- опорные каретки зацепляются в точки вдоль боковых сторон и/или краев подъемных рельсов.

Чаще всего применяются двухпоршневые системы 10 с возможностью выдвижения и втягивания вдоль опорного рельса и перемещения корпуса подъемной опорной домкратной рамы 11. Параллельные балки двух параллельных домкратных систем 10 поднимаются параллельно и последовательно. Такое решение обеспечивает не только надежное крепление во время всего процесса подъема/опускания, обладает высокой несущей способностью и позволяет преодолевать неровности и возможные выступы на основании 1 с уклоном до $\pm 4^\circ$ или смещение стены основания до 15–20 см на расстоянии по высоте от трех метров. Для анкерки на круглых стенах может применяться поворотный элемент анкерной части башмака 4 с диапазоном угла поворота $\pm 15^\circ$.

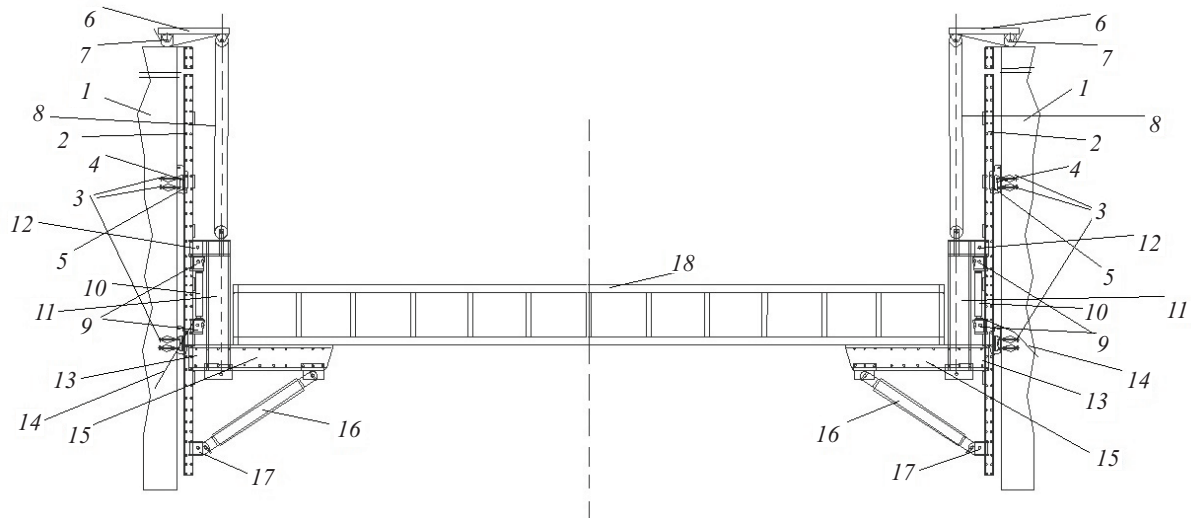


Рис. 6. Вид сбоку, подъем конструкции: 1 — основание; 2 — направляющий рельс; 3 — элемент крепления к основанию; 4 — несущая часть подъемного устройства; 5 — опорное гнездо; 6 — лебедочная система; 7 — барабан лебедки; 8 — лебедочный трос; 9 — стопорное контролирующее устройство (верхнее и нижнее); 10 — домкратная система; 11 — рама; 12 — верхняя фиксирующая каретка; 13 — нижняя фиксирующая подъемная каретка; 14 — система тросов, подсоединенная к двигателю; 15 — консольная опора подъемной домкратной рамы; 16 — подкос с гидравлическим стержнем; 17 — направляющая каретка подкоса; 18 — поднимаемая конструкция

Fig. 6. Side view of the lifting structure: 1 — base; 2 — guide rail; 3 — mounting element to the base; 4 — bearing part of the lifting device; 5 — support socket; 6 — winch system; 7 — winch drum; 8 — winch cable; 9 — locking control device (upper and lower); 10 — jack system; 11 — frame; 12 — upper locking carriage; 13 — lower locking lifting carriage; 14 — cable system connected to the engine; 15 — cantilever support of the lifting jack frame; 16 — support with hydraulic rod; 17 — guide carriage of the strut; 18 — lifting structure

Во втором случае рельсы крепятся к опорному столбу с помощью автоматических фиксаторов.

Завершение монтажа:

- поднимаемый элемент закрепляется на раме;
- корпус рамы поднимается и перемещается по рельсам с помощью лебедок и домкратов;
- система готова к эксплуатации после достижения проектной высоты.

Преимущества предлагаемой технологии:

- универсальность и компактность: подходит для различных типов оснований, из-за компактных размеров может быть смонтирована в любых стесненных условиях, позволяет полносборный подъем любых конструкций сложной конфигурации, имеющих хотя бы две противоположные стороны;
- надежность: система имеет автоматическое управление, анкерная фиксация и стопорные устройства предотвращают падение;
- простота монтажа: легкие элементы и возможность быстрой сборки, не требуется длительная настройка рабочей системы;
- подъемники приводятся в действие одновременно, при этом нагрузка может быть распределена между всеми подъемниками.

Высокая грузоподъемность дает возможность не только подъема грузов и конструктивных элементов с уровня земли или с уровня поверхности воды, но и спуска крупных конструкций с проектной отметки на уровень земли или транспортного сред-

ства, что позволяет ее применение как при строительстве, так и при реконструкции и демонтаже объекта, способствуя значительному ускорению производства работ, и не требует использования кранового оборудования, для возможности последующего демонтажа пролетной конструкции устройство может оставаться на опорах моста. Технология также не требует необходимости применения плавучих средств. *Все элементы конструкции к месту монтажа поставляются в сложенном виде. В случае необходимости длина сборной конструкции может регулироваться в зависимости от необходимой длины пролета путем отсоединения части элементов, снятием с торсионного соединения.*

Для определения грузоподъемности подъемного устройства необходимо было выбрать более надежную конструкцию. Провели сбор нагрузок и расчеты для перекрестно-балочной и перекрестно-стержневой систем, чтобы уточнить сечения, высоту и вес, а также возможность их оптимизации⁶. Расчеты выполнялись в программе SCAD++ с учетом ГОСТ 27751–2014⁷ и стадии эксплуатации, с импортом расчетных схем из программы Revit.

⁶ Саламахин П.М. Проектирование мостовых и строительных конструкций : учебное пособие. М. : КноРус, 2013. 410 с.

⁷ ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115736>

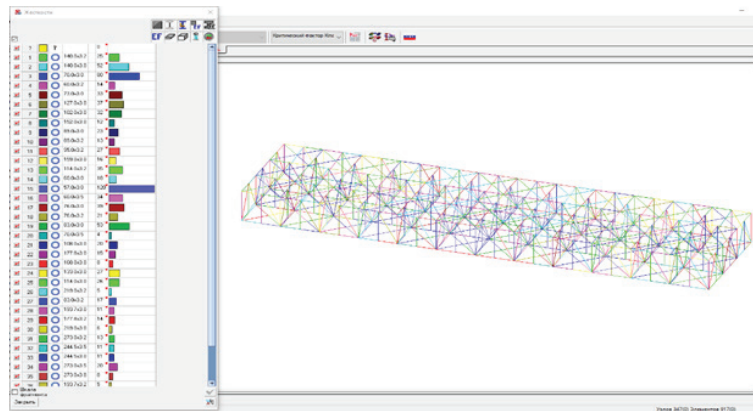


Рис. 7. Предлагаемые варианты сечений перекрестно-стержневой конструкции

Fig. 7. Proposed cross-section options for the cross-rod structure

Расчеты учитывали постоянные, временные и прочие нагрузки, включая вертикальные от большегрузной техники. Влияние возможных осадок грунта и техногенных ситуаций не учитывалось. Сравнивались районы с высокой вероятностью природных ЧС⁸ и сложными логистическими условиями, включая Республику Саха (Якутия), Чукотский автономный округ, удаленные районы Красноярского края и Магаданской области. За основу климатических данных выбран регион с самым слабым транспортным обеспечением — Среднеколымский улус.

Нагрузка от собственного веса принята равномерно распределенной с коэффициентом надежности $\gamma_f = 1,15$ [20]. Узлы рассчитаны как шарнирные для сборно-разборных конструкций. Высота конструкций изменялась до достижения критического состояния, чтобы избежать прогибов выше допустимых, но не менее 1:15 от длины. Максимальная высота не должна превышать 2000–2100 мм для транс-

портировки и складывания. Расчет произведен на металлическую конструкцию. Изначально после введения параметров система предложила большой разброс требуемых сечений конструктивных элементов, что не устраивало по вопросу унификации (рис. 7).

Были скорректированы размеры. В результате расчетов были получены расчетные усилия и перемещения от нагрузок по оси Z, мм.

Перекрестно-стержневая конструкция (рис. 8) показала наихудшие результаты при заданной нагрузке, даже при максимальных сечениях, которые не позволяют производить монтаж не только вручную, но и средствами малой механизации, и высоте конструкции 30 00 мм, прогиб составил 67 мм, что значительно больше максимально допустимого $f_u = 49$ мм (рис. 9). Получается, что в итоге сильно ломается центральная часть моста, и там скорее всего без опоры не обойтись.

Перекрестно-балочная система позволила снизить высоту конструкции пролетного строения до требуемой 2,1 м и уменьшить сечение (рис. 10).

Выбран швеллер 40П ст. 3, вес погонного метра — 48,3 кг.

⁸ Mchs.gov.ru. Глава 4. Прогноз возникновения чрезвычайных ситуаций на 2025 год. URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2025-05-30/35fc145f9049442d38ef4274106cc0ab.pdf>

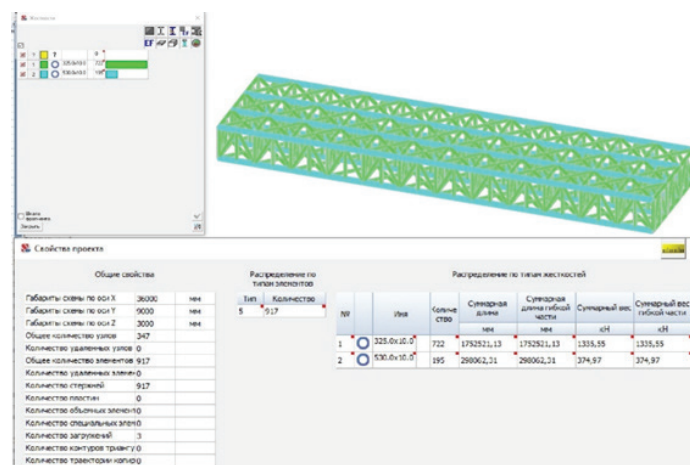


Рис. 8. Расчетная схема перекрестно-стержневой конструкции

Fig. 8. Calculation scheme of the cross-rod structure

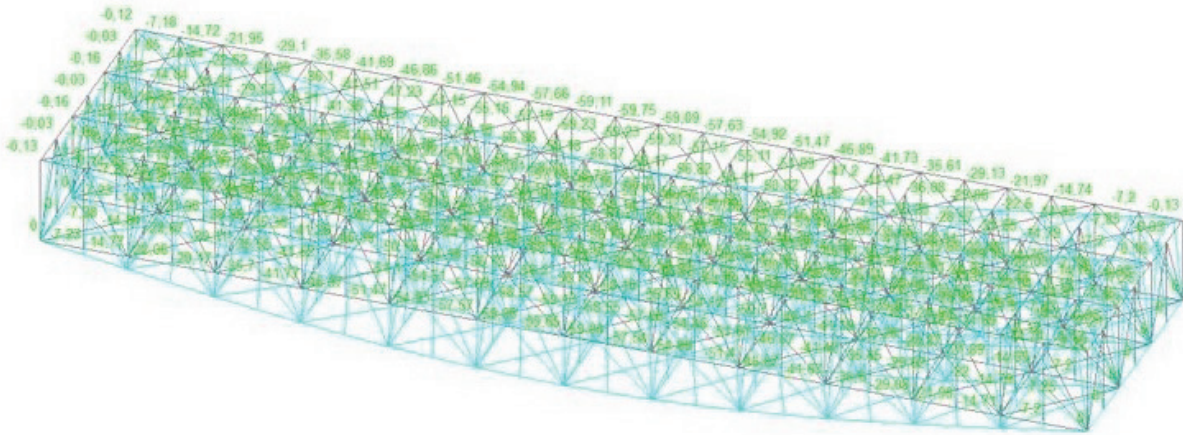


Рис. 9. Карта распределения усилий от изгибающих моментов в перекрестно-стержневой конструкции

Fig. 9. Force distribution map from bending moments in a cross-bar structure

В данном случае максимальное перемещение составило 47 мм (рис. 11), что меньше максимально допустимого $f_u = 49$ мм в соответствии с СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия»⁹.

В этом случае требуется учесть и тот фактор, что ортотропные плиты покрытия проезжей/проходной части проектируемого пролетного строения вклю-

чаются в работу и способны значительно снизить возникающие напряжения и повысить несущую способность перекрестно-балочной конструкции [21].

В виде основного подъемного механизма выбран гидравлический домкрат как обладающий максимальной грузоподъемностью и надежностью. В качестве грузовой нагрузки приняты показатели перекрестно-балочной конструкции. Расчетный вес углекомпозитной конструкции такого типа составляет примерно не более 1/5 от аналогичного сталь-

⁹ СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. URL: <https://docs.cntd.ru/document/456044318>

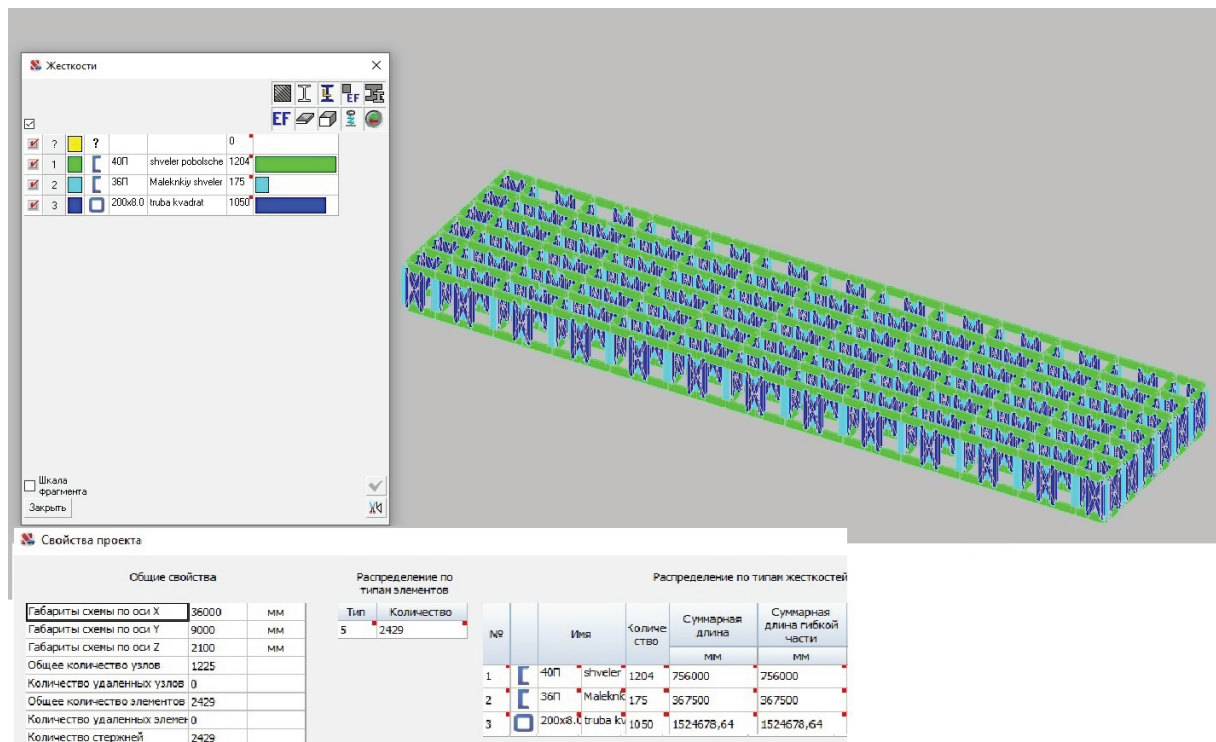


Рис. 10. Расчетная схема перекрестно-балочной конструкции, позволившая максимальное снижение высоты и сечения конструкции

Fig. 10. The design scheme of the cross-girder structure, which allowed for maximum reduction in height and cross-section of the structure

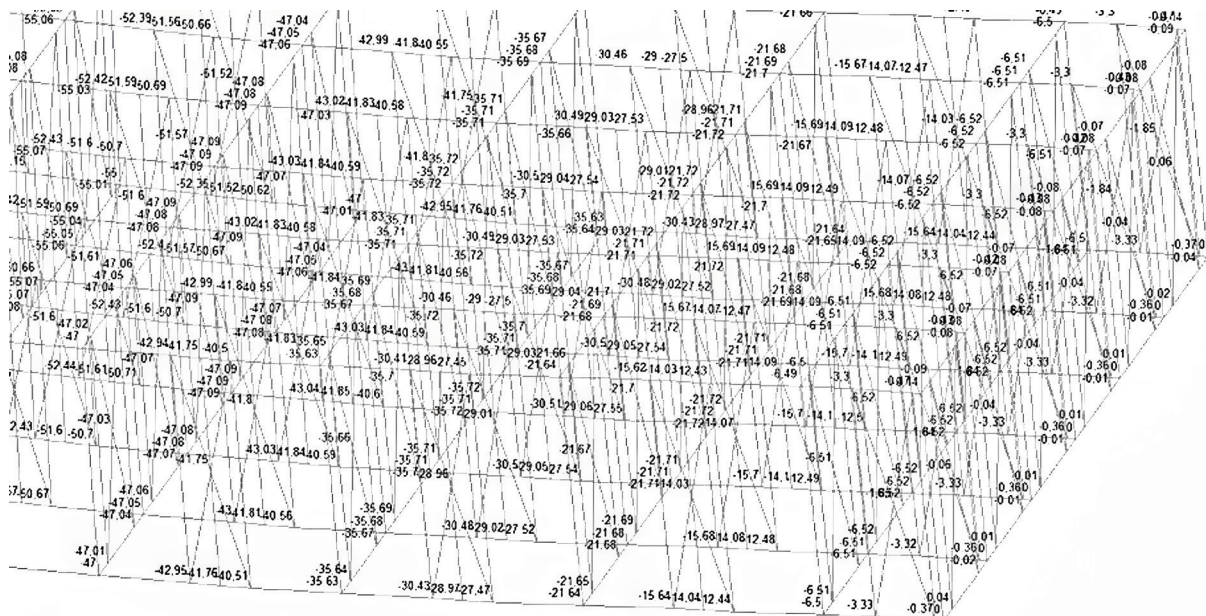


Рис. 11. Карта распределения усилий от изгибающих моментов в перекрестно-балочной конструкции

Fig. 11. Force distribution map from bending moments in a cross-beam structure

ного сооружения. Расчетный вес разработанной конструкции при выполнении из стали составит 59 т, суммарный вес перекрестно-балочной углеводородной конструкции — 11,8 т. Приведенная оценка является приблизительной и может варьироваться в зависимости от конкретного проекта, требований к конструкции и точности расчета, поэтому в расчете гидроцилиндра учтем усредненный вес поднимаемой конструкции как 20 т из-за неточности расчета, не учитывающего вес внутренних торсионных связей, внешних связей, внешнего корпуса и ортотропного покрытия проезжей части. Каждый подъемник содержит по два цилиндра, будем считать что конструкция закреплена по крайним точкам с двух противоположных сторон, т.е. одновременно работают 8 домкратных поршней, для равномерности и одинаковой скорости подъема в каждой точке, система оснащена компонентами контроля и синхронизации. Желательная скорость подъема: 0,008 м/мин.

Расчет усилия на один домкрат¹⁰:

- общее усилие для подъема груза: $F_{\text{общ}} = 20 \times 9,81 = 196,2 \text{ кН}$;
- усилие на один домкрат: $F_1 = 196,2/8 = 24,525 \text{ кН}$.

Расчет диаметра поршня:

формула для расчета: $D = 4F/\pi p$,

где F — усилие на поршень (24,525 кН); p — допустимое давление (принимается 3,62 МПа).

Подставляем значения:

$$D = (4 \cdot 24\,525)/(3,14 \cdot 3,62 \cdot 10^6) = 0,112 \text{ м} = 112 \text{ мм}.$$

¹⁰ Лачуга Ю.Ф., Ксендзов В.А. Теоретическая механика : учебное пособие для вузов. М. : КолосС, 2005. 576 с.

Проверочные расчеты:

- площадь поршня: $S = \pi \cdot (D^2/4) = 3,14 \times (0,112^2/4) = 0,00985 \text{ м}^2$;
- усилие, развиваемое поршнем: $F = p \cdot S = 3,62 \cdot 10^6 \cdot 0,00985 = 35,6 \text{ кН}$;
- запас по усилию: $35,6/24,525 = 1,45 > 20\text{--}30\%$ (решение обладает достаточным запасом и безопасностью).

Данное технологическое решение является вполне осуществимым с учетом дополнительного лебедочного усилия, может иметь хороший запас прочности, надежности и грузоподъемности и безопасность эксплуатации, конструкция поршней может быть размещена на подъемной раме, так как ее размеры соответствуют ранее предполагаемым.

Рекомендации по конструкции: диаметр поршня — 112 мм; рабочее давление — 3,62 МПа; усилие на поршень — 24,525 кН; скорость подъема — 0,008 м/мин; время подъема — около 20 мин.

Необходимые поправки: следует предусмотреть систему управления синхронностью работы домкратов; требуется установка предохранительных клапанов, рекомендуется использовать масло с высокой вязкостью; предусмотреть систему смазки и защиты от попадания грязи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведен анализ существующих технологий бескранового монтажа мостовых пролетов с учетом их достоинств и недостатков. В процессе исследования была разработана технология подъема/опускания, основанная на совместном действии синхронизированных гидравлических домкратов и лебедочных механизмов, передвигающих подъем-

ную раму с секцией моста по рельсовым направляющим, включая поэтапное планирование работ. Технология позволяет поднимать/опускать конструкцию с уровня земли или поверхности воды, предполагается наличие компьютерного управления для точного перемещения элементов. Технология легко адаптируется к различным типам мостовых металлических конструкций как для пешеходных, так и автомобильных мостов, включая аварийное восстановление разрушенных конструкций, дает возможность ее реализации в ранее недоступных локациях, включая возможность возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций в центрах городской застройки, позволяя монтировать пролеты до 50 м без применения кранов. Первоначальное внедрение технологии не должно потребовать больших капитальных вложений, поскольку она основана на ранее разработанных и широко применяемых элементах как опорных стоек, так и подъемной системы. Экономический эффект от внедрения может быть достигнут: за счет сокращения сроков строительства на 15–25 %, благодаря более простому запуску системы и автоматизации, повышающих производительность труда и снижающих продолжительность выполнения работ; улучшению качества монтажа путем высокой точности и контроля процесса и, как следствие, снижению стоимости монтажа на 20–30 %, в том числе за счет отказа от аренды дорогой спецтехники.

Произведено моделирование двух конструкций временных сборно-разборных пролетов — перекрестно-балочной и перекрестно-стержневой, из композитных материалов (например, пултрузионных стеклопластиковых), позволяющих снизить вес конструкции без потери прочности материала, адаптированных для упрощенной ручной или полумеханизированной сборки за счет разработки соединительных узлов, обеспечивающих точную стыковку элементов без использования кранов. Проведен расчет нагрузок на все компоненты системы и компьютерное трехмерное моделирование работы конструкций в процессе эксплуатации в программе SCAD++, анализ устойчивости конструкций выявил возможные деформации с расчетом траекторий перемещения элементов под действием нагрузки, что позволило выбрать как более оптимальную перекрестно-балочную конструкцию. Разработанный внешний чехол дает возможность самотранспортировки, как понтона, или самонадвижку конструкции пролета к месту монтажа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Строительство мостов — планомерный, тщательно проработанный процесс с четкими требо-

ваниями и стандартами, тогда как строительство в нестандартных ситуациях требует гибкости, оперативности и готовности к принятию нестандартных решений в условиях ограниченных ресурсов и времени. Разработка комплексной технологии бескранового монтажа мостовых пролетов является перспективным направлением развития отрасли и альтернативой традиционным методам. Выполнены расчеты нагрузок на все составляющие системы, подтвердившие возможность ее внедрения.

Научная новизна разработанной технологии заключается в комплексном подходе к монтажу строительных конструкций, который характеризуется следующими ключевыми особенностями: возможность монтажа крупных элементов целиком, экономическая эффективность, достигаемая за счет минимизации транспортных расходов, ускорения сроков строительства посредством оптимизации процессов сборки и установки элементов, сокращения времени на подготовительные работы, быстрого развертывания, возможности использования инвентарных средств многократного применения, уникальной возможности использования мостового пролета как временной самосплавающей конструкции. Такой комплексный подход позволяет значительно расширить возможности работы в сложных условиях и труднодоступных районах, повысить эффективность строительных работ, в том числе за счет высокой универсальности, обеспечивающей лучшую адаптивность и устойчивость технологии.

Ключевыми элементами технологии выступают модульная сборка, сочетание гидравлических и лебедочных систем, и цифровое моделирование. Для возможности массового внедрения технологии и точности изготовления необходимы более точные расчеты всех компонентов модульной системы от лебедочно-поршневых систем с учетом их ограничения по грузоподъемности до доработки рабочих чертежей, обучения работников и непосредственных первоначальных инвестиций в новое оборудование. Дальнейшие разработки будут направлены на решение этих вопросов, а также на нормативное регулирование.

Преимущества технологии перевешивают потенциальные трудности, технология бескранового монтажа открывает новые перспективы для мостостроения, технология будет востребована в лесозаготовительной и иной промысловой деятельности, там, где осложнена доставка и монтаж стандартных мостовых конструкций и кранового оборудования, где необходим быстрый монтаж, и при этом срок постоянной эксплуатации невелик, а также при передвижениях транспортных колонн в труднодоступных регионах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Юферов С. Под Ярославлем испытали новый железнодорожный мост-эстакаду ИМЖ-500 // Военное обозрение. Инженерные войска и транспорт. 2013. URL: <https://topwar.ru/32648-pod-yaroslavlem-ispitali-novyyu-zheleznodorozhnyy-most-estakadu-imzh-500.html>
2. Заец А.А. Пути развития и совершенствования конструктивного исполнения мостовых конструкций для выполнения железнодорожными войсками задач по штатному предназначению // Теория и практика восстановления искусственных сооружений на железных дорогах : сб. науч. тр. по мат. отраслевой науч.-практ. конф. 2023. С. 17–21. EDN EXJADY.
3. Лукин А.О., Суворов А.А. Пролетные строения мостов с гофрированными металлическими стенками // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 2 (41). С. 45–67. EDN VPWHPT.
4. Полторацнев А.С. Вариация прочности отсеков при проектировании балок с плоской и гофрированной тонкой стенкой // Вестник гражданских инженеров. 2012. № 4 (33). С. 174–178. EDN PVGQNN.
5. Ходяков В.А., Пастушков В.Г. Высокие технологии в проектировании и строительстве мостов // Модернизация и научные исследования в транспортном комплексе. 2013. Т. 3. С. 432–439. EDN QCVHGR.
6. Иванов И.А. Дороги мира. История и современность : учебное пособие. М. : Инфра-Инженерия, 2017. 282 с. EDN ZVACLP.
7. Smith J. Crane-Free Bridge Construction: Methods and Case Studies. Springer. 2019.
8. Каньшин Е. Строительство мостов по технологии циклической продольной подвижки (ЦПН). Опыт Германии // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. № 33. С. 106–110. EDN STRDYN.
9. Адучин Д.А., Русняк В.И., Тышкевич Е.Н. Обзор проектных решений, применяемых при строительстве Крымского моста // Университетская наука. 2018. № 1 (5). С. 15–17. EDN URNXOP.
10. Талашкин Г.Н. Особенности проектирования и строительства искусственных сооружений для Маглев-дорог // Транспортные системы и технологии. 2016. Т. 2. № 4. С. 35–59. EDN XGVSWT.
11. Паторняк А.В., Краева В.А. Опыт применения специализированных программ для информационного моделирования мостов // Вызовы современности и стратегии развития общества в условиях новой реальности : сб. мат. XIX Междунар. науч.-практ. конф. 2023. С. 159–167. EDN LTLGNH.
12. Макаров А.В., Калиновский С.А. Унификация в проектировании четырехпролетных неразрезных мостов // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 3 (86). С. 120–126. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-120-126. EDN COHEV.
13. Юдина А.Ф., Евтюков С.А., Розанцева Н.В. Разработка технологии монтажа пространственной конструкции на основании экспериментально-теоретических исследований перекрестно-балочной системы // Вестник гражданских инженеров. 2021. № 2 (85). С. 102–107. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-2-102-107. EDN NALSAY.
14. Иванов А.Н. Проблемы применения полимерных композиционных материалов в несущих конструкциях железнодорожных мостов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2020. № 3 (54). С. 29–37. EDN NMZLHC.
15. Салахутдинов М.А., Арипов Д.Н., Ханеков А.Р., Киселев С.С. Экспериментальные исследования несущей способности балок составного двутаврового сечения из пултрузионных стеклопластиковых профилей (ПСП) // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 12. С. 1883–1895. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.12.1883-1895
16. Квитко А.В., Орехов А.В., Петров К.В. Научно-экспериментальное обоснование оптимальных параметров балок пролетных строений военных железнодорожных мостов из композитных материалов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2019. № 669. С. 48–52. EDN KQOTHL.
17. Мельников Р.В. Перекрестно-стержневые (структурные) конструкции покрытий, методы их введения и варианты опирания // Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвящ. 170-летию со дня рождения В.Г. Шухова : сб. докл. 2023. С. 188–194. EDN FWULAG.
18. Потасьев С.С. Конструкции структурных покрытий в отечественной практике проектирования и способы их монтажа // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 7. С. 1079–1090. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1079-1090. EDN OHWZLG.
19. Должиков В.Н., Должикова Е.Н. Экспериментальные исследования влияния деформаций в узловых соединениях на напряженно-деформированное состояние в натурной опоре из МИК-С // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 9. С. 1484–1493. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1484-1493. EDN AISYTD.
20. Надольский В.В. Коэффициенты надежности для стальных элементов, проектируемых на основе компьютерных численных моделей // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. № 10. С. 1606–1616. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1606-1616. EDN UIGFWY.
21. Коргин А.В., Ермаков В.А., Зейд Килани Л.З. Включение ортотропных плит настила в работу несущих конструкций мостов из алюминиевых сплавов // Вестник МГСУ. 2022. Т. 17. № 7. С. 882–896. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896. EDN LRMBFI.

Поступила в редакцию 9 июня 2025 г.

Принята в доработанном виде 29 сентября 2025 г.

Одобрена для публикации 30 сентября 2025 г.

Об авторе: **Надежда Владимировна Розанцева** — кандидат технических наук, доцент 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.

REFERENCES

1. Yuferov S. Near Yaroslavl, a new railway bridge, the IMZH-500 overpass, was tested. Military Review. *Engineering Troops and Transport*. 2013. URL: <https://topwar.ru/32648-pod-yaroslavlem-ispytali-novyy-zheleznodorozhnyy-most-estakadu-imzh-500.html> (rus.).
2. Zaets A.A. Ways of development and improvement of the constructive execution of bridge structures for the performance of tasks by railway troops for their regular purpose. *Theory and practice of restoration of artificial structures on railways : collection of scientific papers based on the materials of the industry scientific and practical conference*. 2023; 17-21. EDN EXJADY. (rus.).
3. Lukin A.O., Suvorov A.A. Bridge spans with corrugated steel webs. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016; 2(41):45-67. EDN VPWHPT. (rus.).
4. Poltoradnev A.S. Variation of shear strength of web panels at designing slender plate girders with flat and corrugated walls. *Bulletin of Civil Engineers*. 2012; 4(33):174-178. EDN PVGQNN. (rus.).
5. Khodiakov V.A., Pastushkov V.G. High technologies in bridge design and construction. *Modernization and Scientific Research in the Transport Sector*. 2013; 3:432-439. EDN QCVHGR. (rus.).
6. Ivanov I.A. Roads of the world. *History and modernity : tutorial*. Moscow, Infra-Engineering, 2017; 282. EDN ZVACLP. (rus.).
7. Smith J. *Crane-Free Bridge Construction: Methods and Case Studies*. Springer, 2019.
8. Kanschyn E. Building bridges on the linear technology cyclic sliding. The German experience. *Newsletter of the Dnipropetrovsk National University of Transport. Academician V. Lazaryan*. 2010; 33:106-110. EDN STRDYN. (rus.).
9. Aduchin D.A., Rusnyac V.I., Tyshkevich E.N. Overview of the design solutions used in the construction of Crimean bridge. *University Science*. 2018; 1(5):15-17. EDN URNXOP. (rus.).
10. Talashkin G.N. Features design and construction of artificial structures for Maglev-roads. *Transportation Systems and Technology*. 2016; 2(4):35-59. EDN XGVSWT. (rus.).
11. Patornyak A.V., Kraeva V.A. The experience of using specialized programs for information modeling of bridges. *Modern challenges and strategies for the development of society in a new reality : collection of materials of the XIX International Scientific and Practical Conference*. 2023; 159-167. EDN LTLGNH. (rus.).
12. Makarov A.V., Kalinovskiy S.A. Unification in the design of four-span continuous bridges. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021; 3(86):120-126. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-3-120-126. EDN COHEV. (rus.).
13. Yudina A.F., Evtyukov S.A., Rozantseva N.V. Development of technology for the installation of spatial structure based on experimental and theoretical studies of the cross-beam system. *Bulletin of Civil Engineers*. 2021; 2(85):102-107. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-2-102-107. EDN NALSAY. (rus.).
14. Ivanov A.N. Problems of the use of polymer composite materials in the supporting structures of railway bridges. *Bulletin of the Siberian State University of Railway Communications*. 2020; 3(54):29-37. EDN NMZLHC. (rus.).
15. Salakhutdinov M.A., Aripov D.N., Khanekov A.R., Kiselev S.S. Experimental studies of the bearing capacity of composite cross section beams made of pultrusion fiberglass rofile (PPF). *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*. 2024; 19(12):1883-1895. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.12.1883-1895. EDN IAVQCP. (rus.).
16. Kvitko A.V., Orekhov A.V., Petrov K.V. Scientific and experimental substantiation of optimal parameters of the beams spans military railway bridges of composite materials. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2019; 669:48-52. EDN KQOTHL. (rus.).
17. Melnikov R.V. Cross-rod (structural) structures of coatings, methods of their construction and support options. *International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of the birth of V.G. Shukhov : collection of reports*. 2023; 188-194. EDN FWULAG. (rus.).
18. Potasiev S.S. Space frame structures in domestic design practice and their installation methods. *Vestnik MGSU [Monthly Journal on Construction and Architecture]*.

ture]. 2024; 19(7):1079-1090. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.7.1079-1090. EDN OHWZLG. (rus.).

19. Dolzhikov V.N., Dolzhikova E.N. Experimental studies of the influence of deformations in nodal joints on the stress-strain state in a full-scale support made of MIC-C. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(9):1484-1493. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1484-1493. EDN AISYTD. (rus.).

20. Nadolski V.V. Reliability factors for steel elements designed on the basis of computer numerical

models. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(10):1606-1616. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.10.1606-1616. EDN UIGFWY. (rus.).

21. Korgin A.V., Ermakov V.A., Zeyd Kilani L.Z. Getting orthotropic deck plates involved in the structural performance of the bearing structures of bridges made of aluminum alloys. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2022; 17(7):882-896. DOI: 10.22227/1997-0935.2022.7.882-896. EDN LRMBFI. (rus.).

Received June 9, 2025.

Adopted in revised form on September 29, 2025.

Approved for publication on September 30, 2025.

B I O N O T E S: **Nadezhda V. Rozantseva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of 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.