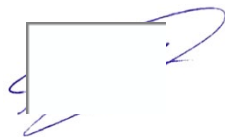


На правах рукописи



Белозеров Павел Григорьевич

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ УЗЛОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

Специальность

2.1.7. Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель:	заслуженный работник высшей школы РФ доктор технических наук, профессор Юдина Антонина Федоровна
Официальные оппоненты:	Молодин Владимир Викторович доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», кафедра технологии и организации строительства, профессор, заведующий кафедрой; Фомин Никита Игоревич кандидат технических наук, доцент ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина», г. Екатеринбург, институт Строительства и Архитектуры, директор института;
Ведущая организация:	ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I».

Защита состоится «28» ноября 2024 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург г, 2-я Красноармейская ул. дом № 4, зал заседаний диссертационного совета (ауд. № 220). Тел./факс: 8 (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и сайте: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/belozerov-pavel-grigorievich>

Автореферат разослан «10» октября 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



А. Н. Гайдо

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Современные тенденции развития строительной отрасли направлены на применение в процессе строительно-монтажных работ изделий и материалов, отличающихся высокой эффективностью, технологичностью, точностью монтажа и качеством конструкций, что позволяет достигать более высоких результатов в повышении производительности труда, сокращении трудоемкости технологических процессов ручных работ на строительной площадке.

Общий рост индустриализации требует снижение трудоемкости технологических процессов на сборку, сокращению сроков строительства, внедрения стандартизации и типизации конструктивно-технологических решений. В России получил широкое распространение способ возведения зданий и сооружений из сборных железобетонных стеновых панелей, в которых в качестве конструктивно-технологических решений используются типовые варианты конструкций и узловых соединений, ухудшающих точность работ в процессе монтажа, и способствующих образованию «мостиков холода» в последующий эксплуатационный период.

Так, в качестве связей для упругоподатливых узлов применяются стальные пластины привариваемых к закладным деталям. При выполнении сварки, выделяется большое количество тепла, а поскольку, практически сразу, не допуская перерывов после сварки наносится антикоррозийное покрытие сварных швов и закладных деталей, происходит сгорание состава отдельных мест покрытия и возникает возможность появления коррозии, которая способствует разрушению металлических материалов и снижению качества сварных соединений.

Вертикальные узлы, имеющие в своей основе бессварной принцип реализуются за счет зацементирования стального стержня стальными тросовыми петлями, вмонтированными в торцы стеновых панелей, при устройстве данных узлов могут возникать дефекты в изменении положения петель, относительно проектного положения, а при натяжении петель возможно перерезание раствора омоноличивания, что влечет за собой нарушение эксплуатационных характеристик узловых соединений.

Таким образом, вышеизложенные дефекты могут возникать из-за недостаточной конструктивной проработки в технологии устройства вертикальных узлов, что указывает на необходимость разработки более совершенных конструктивно-технологических решений вертикальных соединений стеновых панелей для обеспечения высокого качества межпа-

нельных узлов, наряду с повышением точности монтажа конструкций, эксплуатационных характеристик и сокращением трудоемкости, материало-емкости и стоимости его устройства.

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью разработки эффективной технологии устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций, позволяющей более эффективно выполнять работы по установке стеновых панелей в построечных условиях с существенным снижением затрат труда, одновременным повышением качества соединений панелей и точности их установки.

Степень разработанности темы исследования. Вопросы совершенствования технологических процессов возведения зданий из сборных ж/б конструкций отражены в работах Беленцова Ю. А., Верстова В. В., Виноградова А. Б., Гайдо А. Н., Данель В. В., Король Е. А., Коткова Р. В., Куправа Л. Р., Лapidуса А. А., Молодина В. В., Оленика П. П., Пугач Е. М., Сычева С. А., Топчого Д. В., Фомина Н. И., Юдиной А. Ф., в частности устройства узловых соединений ограждающих конструкций были продолжены в трудах и изобретениях Дербенцева И. С., Карякина А. А., Мироновой Ю. В., Сергеева М. С. Соколова Б. С., Тамразяна А. Г., Тарасова М. В.

Целью диссертационной работы является разработка эффективной технологии устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций, обеспечивающей повышение точности установки, надежность их соединения и качество межпанельных узлов.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие **научные задачи исследования**:

1. Проведен анализ существующих технологий устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций, их технологические параметры, дефекты, возникающие в процессе их устройства.

2. Разработана эффективная технология устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий, отвечающая требованиям надежности соединения и качеству межпанельных узлов.

3. Разработаны модели исследуемого и существующих аналогов узловых соединений железобетонных ограждающих конструкций, при помощи программных комплексов.

4. Экспериментально обоснованы преимущества исследуемой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей по сравнению с существующими аналогами.

5. Разработаны комплекты оснастки для обеспечения принудительного монтажа конструкций с применением предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций.

6. Разработаны технологический регламент и технологические карты по реализации предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей зданий с применением разработанного комплекта оснастки.

Научная новизна диссертационного исследования:

1. Выявлены технологические параметры, а также характерные дефекты, возникающие в процессе устройства межпанельных соединений;

2. Научно обоснована технология устройства быстромонтируемого вертикального скользящего соединения железобетонных стеновых панелей зданий, позволяющая упростить конструкцию, сократить затраты на монтажные детали, не повышая металлоемкость и трудоемкость изготовления вертикальных узлов соединения стеновых панелей;

3. Разработаны модели вертикальных узловых соединений предлагаемого конструктивно-технологического решения и известных аналогов с использованием программного комплекса, проведено численное моделирование и сопоставлено с экспериментальными данными;

4. Теоретически и экспериментально обоснованы преимущества предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей по сравнению с существующими аналогами.

Теоретическая значимость работы заключается в научном обосновании и подтверждении эффективности использования предлагаемого конструктивно-технологического решения вертикального соединения железобетонных стеновых панелей зданий за счет повышения параметров точности и эксплуатационной надежности узлового соединения.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

– разработано и запатентовано конструктивно-технологическое решение быстромонтируемого вертикального скользящего соединения железобетонных стеновых панелей зданий и сооружений;

– разработан комплект направляющих деталей оснастки, обеспечивающий точность монтажа конструкций и качество производимых работ;

– разработаны и внедрены технологический регламент применения технологии быстромонтируемого вертикального скользящего соединения при изготовлении наружных стеновых панелей, технологическая карта на монтаж стеновых панелей.

Методология и методы исследования: анализ патентных источников, использование теоретических и экспериментальных результатов ведущих ученых в области совершенствования технологических процессов возведения панельных зданий и устройства узловых соединений железобетонных ограждающих конструкций; методов моделирования и регрессионного анализа, методов оценки эффективности строительных технологий. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях по стандартным и специальным методикам с использованием современного оборудования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ существующих технологий устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий, их технологические параметры и дефекты, возникающие в процессе их устройстве.
2. Технология устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий;
3. Результаты экспериментальных исследований технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей и сравнение предлагаемой технологии с известными аналогами;
4. Прогнозируемые значения разработанных моделей, на основе регрессионного анализа, позволяющие предусматривать сокращение количества монтажных узлов в рамках локальных вертикальных соединений;
5. Комплекты оснастки для обеспечения принудительного монтажа конструкций с применением предлагаемой технологии быстромонтируемого вертикального скользящего соединения стеновых панелей.

Апробация научных результатов: основные положения настоящей диссертационной работы докладывались и обсуждались на 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства» (Санкт-Петербург, 2018); 74-й и 75-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета «Архитектура – строительство – транспорт» (Санкт-Петербург, 2019); 71-й международной научной конференции по проблемам архитектуры и строительства (Казань, 2019).

Объектом исследования является технологический процесс устройства узловых соединений сборных железобетонных ограждающих конструкций панельных зданий.

Предметом исследования являются параметры и характеристики технологических процессов устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий.

Рабочая гипотеза состоит в разработке нового, более эффективного конструктивно-технологического решения вертикального соединения стеновых панелей зданий для обеспечения высокого качества межпанельных узлов, повышения точности установки панелей, надежности соединения, при сокращении трудозатрат на установку стеновых панелей, что в целом влияет на общую эффективность технологического процесса монтажа железобетонных ограждающих конструкций, эксплуатационные характеристики и соответственно позволит сократить продолжительность и трудозатраты по их установке.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальности – 2.1.7. Технология и организация строительства:

2 – Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации строительства, реконструкции, капитального ремонта, сноса зданий и сооружений. Разработка систем контроллинга и средств мониторинга организационно-технологических процессов;

4 - Теоретические и экспериментальные исследования эффективности технологических процессов. Выявление общих закономерностей реализации сложных инвестиционно-строительных проектов с применением информационного моделирования и оптимизации организационно-технологических решений.

Исследование относится к области строительства, а именно к технологии возведения сборных зданий и сооружений и может быть использовано для устройства вертикальных узловых соединений железобетонных ограждающих конструкций в условиях строительной площадки.

В соответствии с п. 9 Положения о присуждении ученых степеней представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические решения, позволяющие повысить эффективность и технологичность вертикальных узловых соединений, имеющие существенное значение для развития страны.

Публикации: основные научные результаты диссертации опубликованы в 7 научных работах, в том числе 3 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК, 1 в рецензируемом издании индексируемой базы данных Scopus, также получен патент на изобретение №2781834 «Быстромонтируемое вертикальное скользящее соединение стеновых панелей».

Степень достоверности полученных полученных результатов исследований и выводов по диссертационной работе обоснована применением методов регрессионного анализа экспериментальных данных и установлением локальных и точечных прогнозов показателей вертикальных узловых соединений, а также разработанной руководящей документацией. Сформулированные автором выводы и практические рекомендации могут быть использованы в процессе возведения зданий и сооружений.

Работа выполнена на кафедре технологии строительного производства ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) в период с 2017 по 2024 годы.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация изложена на 117 страницах печатного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения (основные выводы), списка литературы, включающего 138 источников. В работе представлено 67 рисунков, 6 таблиц и 26 формул.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований, показана научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы.

В первой главе раскрыта актуальность научных исследований на основании анализа существующих способов и технологий монтажа узловых соединений стеновых панелей полносборных зданий, показаны их достоинства и недостатки. Приведены основные сравнительные выводы по технологиям. Разработан план совершенствования систем полносборного строительства из железобетона.

Вторая глава представлена методика экспериментального исследования узловых соединений стеновых панелей, проведен анализ испытания петлевого узлового соединения. Приведены основные сравнительные выводы по методике испытания. Разработан план проведения экспериментального испытания и дальнейшего совершенствования технологии монтажа узловых соединений стеновых панелей полносборного строительства из железобетона. Сделан вывод о необходимости развития существующих технологий. Разработана технология быстромонтируемого вертикального скользящего соединения. Проведено планирование экспериментального исследования на основе результатов испытания над наиболее близким аналогом.

В третьей главе дается представление о реализации цели исследования. Излагаются этапы разработки опытных моделей предлагаемого конструктивно-технологического решения. Описывается процесс изготовления опытных образцов, согласно разработанным моделям. Производится

обоснование и экспериментальное испытание предложенной технологии. Проводится сравнительный анализ с петлевым межпанельным стыком.

В четвертой главе приводится процесс разработки комплекта направляющих деталей оснастки для обеспечения принудительного монтажа стеновых панелей, определению эффективности предлагаемого узлового соединения и расчету параметров себестоимости, трудоемкости и металлоемкости на основе типовых элементов железобетонных конструкций, а также разработке технологического регламента и технологической карты на монтаж стеновых панелей.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. На основании проведенного анализа существующих технологий устройства вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий выявлены основные факторы, влияющие на технологические параметры, а также характерные дефекты, возникающие в процессе устройства межпанельных соединений.

Вариативность способов фиксации достаточно большая, но из известных типов соединений железобетонных панелей рассмотрено несколько, в одном из которых, при устройстве вертикального упругоподатливого узла, в соответствии с рисунками 1–3 между панелями в качестве связи могут быть использованы стальные пластины, привариваемые к закладным деталям.



Рисунок 1 – Упругоподатливый узел

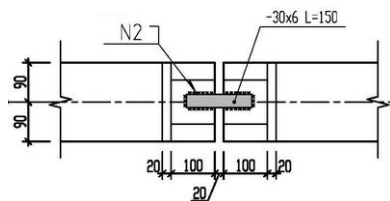


Рисунок 2 – Конструкция расположения узловых пластин на верхних торцах при устройстве вертикального

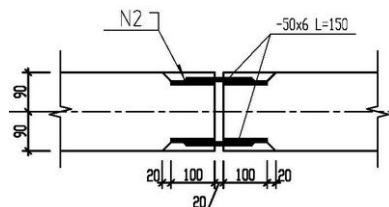


Рисунок 3 – Конструкция расположения узловых пластин на боковых торцах при устройстве вертикального упругоподатливого узла наружных стеновых панелей

Недостатками сварных соединений, отмеченных выше помимо малой технологичности, являются эксцентричность нагрузки, передаваемой от одной панели к другой, нарушение изоляционного окрасочного слоя и затруднение при омоноличивании узлового соединения при горизонтальном расположении пластины, в соответствии с рисунком 5.



Рисунок 4 – Сварное соединение пластин



Рисунок 5 – Нарушение изоляционного окрасочного слоя

В качестве аналогов рассмотрен вариант конструктивно-технологического решения – бессварной узел, в котором соединение реализовано за счет зажима гибкими стальными связями в виде тросовых петель вертикального арматурного стержня, в соответствии с рисунком 6.

При устройстве бессварного узла одним из дефектов является несоответствие точности расположения монтажных деталей в пространстве в процессе устройства межпанельных узловых соединений. Точность установки панели зависит от горизонтального расположения тросовых петель по отношению к монтируемой панели и перпендикулярного расположения анкерного стержня относительно плиты перекрытия и нахлеста тросовых петель, в соответствии с рисунком 7.

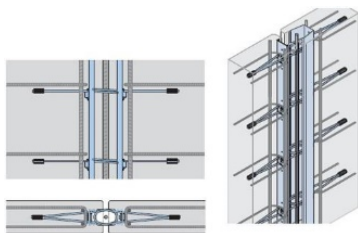


Рисунок 6 – Общий вид узлового соединения с применением тросовых петель



Рисунок 7 – Отклонение положения монтажной петли от проектного положения в процессе установки панели

После установки опалубки через растворный шланг в узел подается беззасадочная бетонная смесь и распределяется по всему объему узла, затем до начала твердения смеси излишки выдавленного раствора убираются. При попадании внутрь узла бетонная смесь, набирая прочность имеет вид шпонки и начинает работать на сдвиг.

Также возможен дефект при разрезании бетона петлями при их натяжении вследствие восприятия нагрузок узловым соединением, что приводит к повышенному трещинообразованию узловых соединений. Указанные дефекты возникают в результате ряда факторов, связанных, прежде всего, с нарушением технологии устройства соединений при возведении панельных зданий.

Исходя из анализа проведенного эксперимента можно сделать вывод о подтверждении характерных дефектов данного узлового соединения, так как все повреждения узлового соединения образуются в месте образования нахлеста петлями. Дефект со смещением тросовых петель относительно нормали в данном эксперименте не возникал, в связи особенностями испытываемых деталей в виде слишком малых геометрических размеров. Установлен характер работы и его прочностные характеристики, представленные в табличной форме, также описан процесс разрушения узла и на представленных в диссертации фотографиях отмечены характерные повреждения при монотонном нагружении.

2. Предложена, исследована и запатентована технология устройства быстромонтируемого вертикального скользящего соединения (БВСС) железобетонных стеновых панелей зданий, позволяющая упростить его, сокращая при этом затраты на монтажные детали, существенно не повышая металлоемкость и трудоемкость устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей.

Быстромонтируемое вертикальное скользящее соединение стеновых панелей, предложенное автором, в соответствии с рисунком 8, состоит из двух торцов: двутавровых деталей на одном торце и швеллеровых на другом и зоны омоноличивания. Двутавровая и швеллеровая детали армируются П-образными скобами в тело панели, которые располагаются на одном уровне друг с другом и выполнены из стали марки ст. 3.

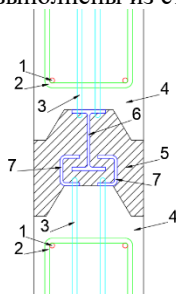


Рисунок 8 – Разрабатываемое узловое соединение в плане.

- 1 – вертикальное армирование; 2 – горизонтальное армирование; 3 – анкера;
4 – тело панели; 5 – зона омоноличивания; 6 – двутавровая монтажная деталь;
7 – комплект швеллеровых монтажных деталей

В соответствии с рисунком 9 представлена 3 D модель предлагаемого узлового соединения в смонтированном виде до омоноличивания.

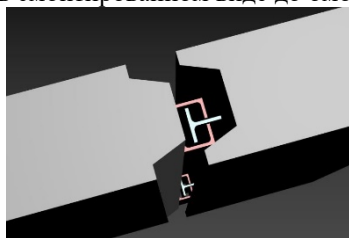


Рисунок 9 – 3-д модель разрабатываемого узлового соединения в смонтированном виде до омоноличивания

3. Разработаны модели вертикальных узловых соединений предлагаемого конструктивно-технологического решения и известного аналога с использованием программного комплекса Solid Works и Ansys Workbench.

Для проведения программного анализа были разработаны модели предлагаемого и известных типов соединений (упругоподатливый узел), в котором соединение реализовано за счет закладных деталей в виде стальных пластин (Ст 3) и привариваемой стальной накладки, в соответствии с рисунком 10 и бессварного петлевого узла, в соответствии с рисунком 11,

в котором узловое соединение реализовано за счет тросовых петель из нержавеющей стали, наложенных друг на друга внахлест и закрепленных арматурным стержнем, диаметром 16 мм.

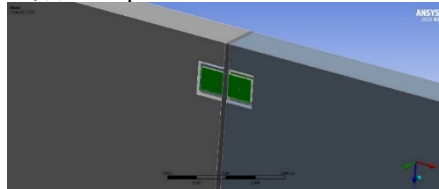


Рисунок 10 – Соединительная пластина

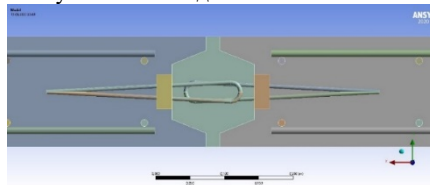


Рисунок 11 – Разрез бессварного петлевого узла стеновых панелей

Все представленные выше модели узлов панелей, включая исследуемую разработку, в соответствии с рисунком 12, позволяют использовать программный комплекс Ansys Workbench для определения технологического параметра долговечности предлагаемого конструктивно-технологического решения узлового соединения ограждающих конструкций и последующего сравнения с известными - сварными и бессварными аналогами.

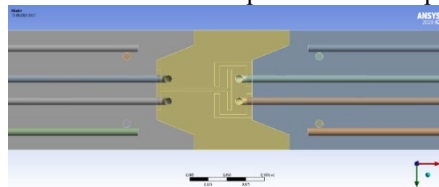


Рисунок 12 – Разрез узла стеновых панелей с применением предлагаемой технологии БВСС

4. Теоретически и экспериментально обоснованы преимущества предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей по сравнению с существующими аналогами.

В качестве опытных образцов были приняты фрагменты вертикальных узлов пяти типов в зависимости от формы фиксирующих анкеров.

За основу при проектировании опытных образцов были приняты фрагменты вертикальных узлов пяти типов в зависимости от формы фиксирующих анкеров. Для определения податливости, путем выдергивания монтажных деталей из тела панели и прочностных характеристик отдельно

монтируемых стеновых панелей использовался фрагмент стеновой панели с двутавровой монтажной деталью, закрепленных анкерами в тело контрольного образца пятью разными способами.

Опытные образцы узловых соединений стеновых панелей имеют реальные геометрические размеры и отличались друг от друга типом крепления монтажных деталей внутри тела железобетонного элемента.

Использованы современные методики проведения стендовых испытаний анкерных креплений с использованием высокоточного измерительного оборудования, позволяющие определить фактическую работу анкера на выдергивание. Применение поверенного и сертифицированного оборудования, в соответствии с рисунком 13 (универсальной электромеханической машины Instron-5989, максимальная статическая нагрузка 600 кН), позволило получить воспроизводимость результатов исследований.



Рисунок 13 – Испытательное оборудование Instron-5989

По итогам испытаний были сформулированы следующие результаты: основное раскрытие трещин, возникших в исследуемом элементе в процессе эксперимента, наблюдались от противоположного торца по отношению к испытываемым монтажным деталям. Раскрытие повреждений в местах наибольших разрушений достигало 5 мм, в соответствии с рисунками 14, 15.



Рисунок 14 – Характер восприятия нагрузки опытными образцами



Рисунок 15 – Раскрытие трещин в местах наибольших разрушений

На графиках, в соответствии с рисунками 16-19 результаты эксперимента представлены в виде диаграмм, ось абсцисс которых отображает

прилагаемую нагрузку, с единицей измерения в ньютонах (Н), а ось ординат отображает перемещение монтажной детали при растяжении, с единицей измерения в миллиметрах (мм).

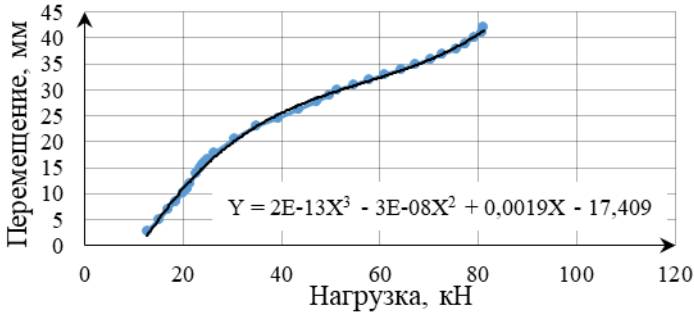


Рисунок 16 – Прямолинейное анкерование

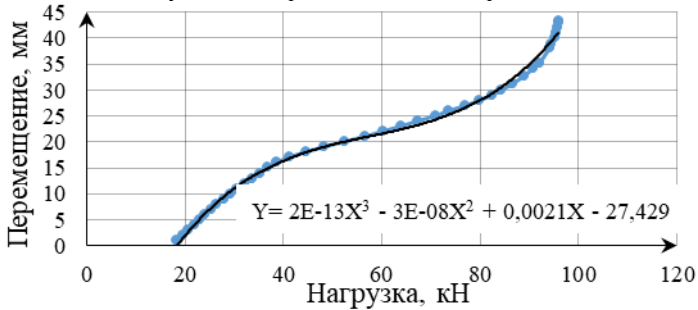


Рисунок 17 – Криволинейное анкерование

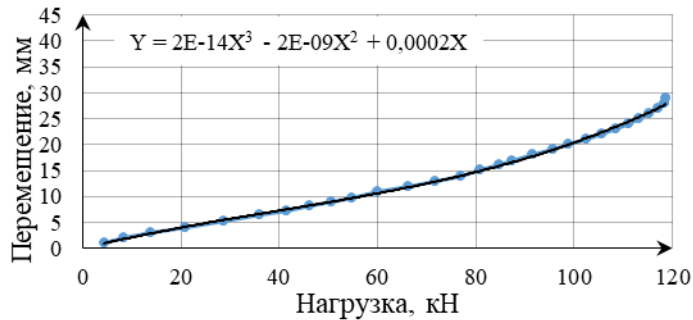


Рисунок 18 – Первый крюковой тип анкерования

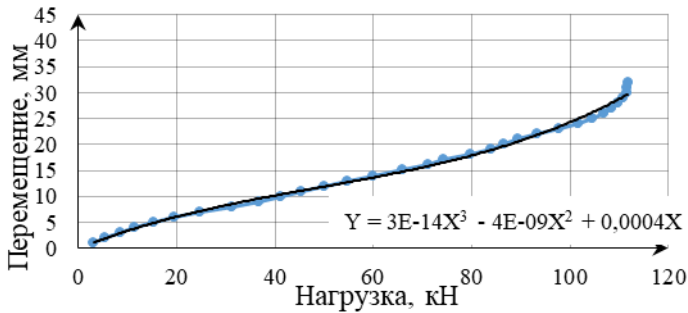


Рисунок 19 – Второй крюковой тип анкерования

Характер работы узлового соединения и нагрузки, выдерживаемые монтируемыми деталями превосходят нагрузки, установленные при испытании петлевого узла. Финальный этап эксперимента прошел успешно, детали на выдергивание показали 81,11 кН, в соответствии с рисунком 16 – прямолинейное анкерование, 95,88 кН, в соответствии с рисунком 17 – криволинейное, 118,68 кН, в соответствии с рисунком 18 – крюковой первый вариант, 111,75 кН, в соответствии с рисунком 19 – крюковой второй вариант, при малых перемещениях монтажных деталей внутри завершенного межпанельного узла.

В связи с ранним разрушением в процессе испытания, малыми воспринимаемыми нагрузками (максимальные значения достигают 61 кН) и обширными повреждениями был исключен вариант углубленного анкерования монтажных деталей.

Для определения общих зависимостей между исследуемыми параметрами был выполнен регрессионный анализ корреляционного поля. Метод наименьших квадратов позволяет оценить параметры регрессии.

$$\sum (y - \hat{y})^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

где y – значение, полученное с помощью разработанной модели; $\hat{y}$ – фактически полученные данные, в рамках проведенного испытания.

Оценку качества разработанных для испытания моделей возможно осуществлять, производя расчеты коэффициента детерминации, а также средней ошибки аппроксимации (среднее отклонение расчетных данных согласно уравнению регрессии модели от фактически полученных при эксперименте).

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y_i - \hat{y}_{xi}}{y_i} \right| \cdot 100\%, \text{ т. е. } A_i = \left| \frac{y_i - \hat{y}_{xi}}{y_i} \right| \quad (2)$$

где y_i – значения из массива данных; $\widehat{y}_{xi}$ – значения обобщающей регрессионной кривой;

Допустимый предел $\bar{A}$ для оценки достоверности модели должно находиться в пределах 8–10%.

Долю дисперсии, объясняемую регрессией, в общей дисперсии результативного признака y характеризует коэффициент (индекс) детерминации R :

$$R^2 = \frac{\sum(\widehat{y}_x - \bar{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \quad (3)$$

где $\sum(\widehat{y}_x - \bar{y})^2$ – факторная сумма квадратов отклонений, объясняющая регрессию; $\sum(y - \bar{y})^2$ – остаточная сумма квадратов отклонений, позволяющая учесть неучтенные факторы в модели.

Коэффициент детерминации – квадрат коэффициента или индекса корреляции:

$$R(x, y) = r_{xy}^2 \quad (4)$$

Согласно расчетам по формулам 3 и 4 предлагаемые модели, разработанные на основе экспериментальных данных, имеют следующие показатели качества, табл. 1.

Таблица 1. Основные показатели качества разработанных моделей

Модель	Коэффициент детерминации	Ошибка аппроксимации
№1. Прямолинейное анкерование.	$R^2 = 0,99$	$\bar{A} = 3,6\%$
№2. Криволинейное анкерование.	$R^2 = 0,99$	$\bar{A} = 5,3\%$
№3. Крюковой первый тип.	$R^2 = 0,96$	$\bar{A} = 1,9\%$
№4. Крюковой второй тип.	$R^2 = 0,96$	$\bar{A} = 3,1\%$

Модель считается качественной в том случае, если коэффициент детерминации находится как можно ближе к единице и ошибка аппроксимации не превышает 8 %. В процессе испытаний и регрессионного анализа не рассчитывался углубленный вариант узла.

В целях прогнозирования расчётных значений прочностных характеристик быстромонтируемого скользящего соединения таблица 2 используются основные коэффициенты при значениях X , а также свободный член уравнение регрессии.

Таблица 2. Прогнозирование значений, с учетом применения основных параметров уравнения регрессии

Модель	Нагрузка, кН	Прогноз перемещения монтажных деталей, мм	
		Точечный	Интервальный (надежность 95%)
№1. Прямолинейное анкерование.	60	32,4	31,19–33,6
	70	35,81	34,45–37,16
	80	40,76	39,52–42
№2. Криволинейное анкерование.	60	21,59	19,87–23,3
	70	24,02	22,3–25,75
	80	28,08	26,35–29,81
№3. Крюковой первый тип.	60	10,58	9,86–11,30
	70	12,5	11,78–13,22
	80	14,71	13,99–15,43
№4. Крюковой второй тип.	60	13,63	12,07–15,18
	70	15,58	14,02–17,12
	80	17,89	16,34–19,44

Для расчета интервальных прогнозов помимо коэффициентов регрессионного уравнения и свободного члена также необходимо рассчитать значение предельной ошибки, которое можно рассчитать по формуле (6), вычисление предельных ошибок невозможно без определения остаточной дисперсии (7).

$$m_{npi} = S_{ocm} \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_{npi} - \bar{x})^2}{\sum (x - \bar{x})^2}} \quad (6)$$

$$S_{ocm}^2 = \frac{\sum (y - y_{расч})^2}{n - m - 1} \quad (7)$$

где x_{npi} – параметр, характеризующий ошибку положения линии регрессии;
 $\bar{x}$ – фактическое значение; x – признак-фактор, по нахождению которого

можно оценивать качество прогнозируемых результатов; n – количество полученных результатов в рамках проводимого эксперимента.

Результаты точечных и интервальных прогнозов, полученных в рамках проведенного эксперимента и последующего регрессионного анализа, позволяют говорить об избыточности прочностных характеристик предлагаемого узлового соединения, на основании чего, количество узлов может быть сокращено до 1 единицы, что позволит существенно сократить металлоемкость межпанельного узла и упростить его конструкцию.

В качестве критерия обоснования эффективности и рациональности предлагаемого варианта соединения определялись ресурсоемкость и трудоемкость производства строительной конструкций (стеновой панели). В типовых расчетных данных для исключения идентичных параметров были исключены этапы расположения и натяжения преднапрягаемых стержней арматуры, укладки слоя утеплителя, расхода пара на тепловую обработку, при необходимости их добавления в конструкцию следует добавлять соответствующие значения в формулу расчета.

Окончательный вид формулы для расчета себестоимости (8) и трудоемкости (9) будет выглядеть следующим образом:

$$C_{с.к.} = C_{\delta} + C_a + C_{\partial} + C_o \quad (8)$$

где C_{δ} – суммарная себестоимость бетонной смеси; C_a – суммарная себестоимость арматурных стержней, изделий и каркасов; C_{∂} – суммарная себестоимость монтажных закладных и стальных связующих изделий; C_o – суммарная себестоимость опалубочных конструкций.

$$T_{с.к.} = T_{\delta} + T_{\partial} + T_y + T_{\phi} \quad (9)$$

где T_{δ} – суммарные трудозатраты на укладку бетонной смеси; T_{∂} – суммарная трудоемкость изготовления монтажных закладных и стальных связующих изделий; T_y – суммарная трудоемкость установки в проектное положение арматурных и монтажных изделий; T_{ϕ} – суммарная трудоемкость формирования железобетонных конструкций.

Сравнительные показатели частных параметров предлагаемого соединения с базовыми показателями упругоподатливого и петлевого узлов, таблица 3, рассчитаны по формуле (11). Сравнительные показатели высчитываются отношением значения параметров предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений к соответствующими значениями базовых параметров известных типов соединений.

Определяя комплексный критерий технологичности изделия применяется метод оценки, выполненный на основе вычисления следующих показателей:

- абсолютного показателя

$$K = (k_1 \dots k_n) \quad (10)$$

– сравнительного показателя

$$K_y = K / k_0 \quad (11)$$

где $k_1 \dots k_n$ – определение частных показателей технологичности; k_0 – показатель технологичности известного аналога.

Таблица 3. Значения сравнительных коэффициентов себестоимости и трудоемкости технологических операций по изготовлению стеновых панелей с различными типами применяемых вертикальных узловых соединений

№ п/п	Наименование расчетного параметра	Фактические значения видов вертикальных узловых соединений	
		Базовый показатель: упруго-податливый узел	Базовый показатель: петлевой узел
1.	Сравнительный коэффициент себестоимости бетонной смеси марки В25	0,997	1,002
2.	То же себестоимости арматуры	1 (значения идентичны)	
3.	То же себестоимости монтажных деталей	0,713	0,389
3.1	То же металлоемкости монтажных узлов	0,552	1,127
4.	То же себестоимости опалубки	1	0,955
5.	То же трудоемкости укладки бетонной смеси	0,995	1,002
6.	То же трудоемкости укладки арматуры	1 (значения идентичны)	
7.	То же трудоемкости установки стальных монтажных деталей	0,593	2,491
8.	То же трудоемкости формирования железобетонных изделий	1	0,955

Исходя из значений, отраженных в таблице 3 следует вывод: процессы бетонирования, армирования и опалубливания при изготовлении конструкций не имеют существенной разницы в сравнительных показателях. В свою очередь себестоимость, материалоемкость и трудоемкость имеют значительные различия. По отношению к упругоподатливому узловому соединению применение предлагаемой технологии позволит сократить на 29 % себестоимость монтажных деталей, на 45 % металлоемкость соединений и на 41 % трудоемкость установки монтажных деталей. По отношению к петлевому стыку – на 61 % сокращается себестоимость монтажных деталей, при повышении на 13 % трудоемкости установки монтажных деталей.

5. Для обеспечения принудительного монтажа стеновых панелей, разработан комплект направляющих деталей оснастки, представленный ловителями монтируемой панели в двух плоскостях, что позволит сократить трудоемкость установки панелей и обеспечить точность установки конструкций, тем самым повысить качество производства работ.

Снижение трудоемкости процессов монтажа стеновых панелей достигается путем применения комплекта оснастки, в соответствии с рисунком 20, элементы которой направлены на ограничение перемещения монтируемых элементов в продольной и поперечной плоскости.

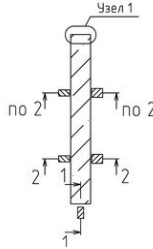


Рисунок 20 – Схема стеновой панели в плане.

Разрез 1-1 – ограничитель продольного смещения.

Разрез 2-2 и узел 1 – ограничители поперечного смещения

Принципы принудительного монтажа реализуются посредством применения системы ловителей, которая при естественном перемещении элемента ограждающей конструкции и контакте с инвентарными направляющими ограничивается в перемещении, благодаря чему, происходит повышение точности установки ограждающей конструкции, а также снижаются трудозатраты на монтаж, выверку и временное их закрепление.

Для применения принудительного монтажа в продольной плоскости, необходимо обеспечить надежный контроль проектного положения и отсутствие смещений, что может быть достигнуто при использовании разработанного автором ограничителя перемещения, в соответствии с рисунками 21, 22.

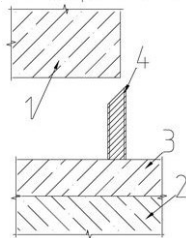


Рисунок 21 – Разрез 1-1.

1 – монтируемая стеновая панель; 2 – нижестоящая панель;

3 – плита перекрытия; 4 – ограничитель перемещения

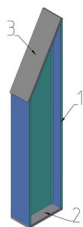


Рисунок 22 – Деталь 4. Ограничитель продольного смещения стеновой панели:

- 1 – подрезанная двутавровая балка 10Б1; 2 – опорная пластина Ст3;
3 – контактная пластина Ст3

Ограничитель перемещений состоит из трех основных деталей: двутавровой балки 10Б1, подрезанной с верхнего торца и двух стальных пластин из стали Ст3. Верхняя контактная пластина приваривается к двутавровой стойке упора, вдоль подрезанного торца и в процессе установки, стеновая панель сдвигается по ней под собственным весом и тем самым ограничивает смещение. Нижняя пластина (опорная) крепится к закладным деталям, предусмотренным в плите перекрытия в виде шпилек, обеспечивая плоскость опирания стеновой панели и ее проектное положение, в соответствии с рисунком 22.

Первый тип ловителей, состоит из двух деталей, монтируемых вдоль лицевых плоскостей стеновой панели: со стороны рабочего горизонта устанавливается деталь аналогичная продольному ограничителю, с обратной стороны стеновой панели к стене сквозным креплением фиксируется швеллеровая деталь, с контактным торцом, подготовленным по образцу продольного ограничителя (стальная пластина, приваренная по площади контакта к месту реза).

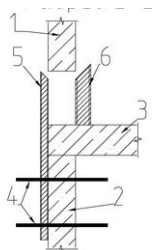


Рисунок 23 – Разрез 2-2:

- 1 – монтируемая стеновая панель;
2 – нижестоящая панель; 3 – плита перекрытия;
4 – фиксирующие шпильки;
5 – швеллеровый ограничитель;
6 – двутавровый ограничитель

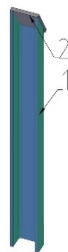


Рисунок 24 – Швеллеровый поперечный ограничитель.
1 – подрезанная швеллеровая балка 5П; 2 – контактная пластина Ст3

Второй тип ловителей, представляет собой торцевой ограничитель, выполненный из стальной профильной трубы марки Ст3, сечением 100×100×10 мм. Применение данного вида ограничителя позволяет обеспечить фиксацию положения стеновой панели в процессе установки в поперечной плоскости, в соответствии с рисунком 25.

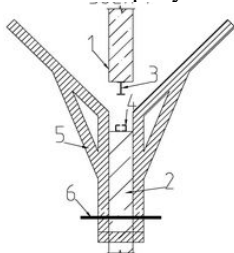


Рисунок 25 – Узел 1. Поперечный торцевой ловитель:

- 1 – монтируемая стеновая панель; 2 – смонтированная стеновая панель;
3 – двутавровая монтажная деталь; 4 – швеллеровая монтажная деталь;
5 – торцевой ловитель; 6 – фиксирующая шпилька.

Применение разработанного комплекта оснастки позволит существенно сократить трудозатраты и продолжительность всего процесса установки стеновых панелей, таблица 4.

Таблица 4. Результаты сравнения продолжительности выполнения технологических операций предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей (БВСС) с существующими аналогами (упругоподатливый и петлевой узлы соединения)

№ п/п	Наименование технологических операций	Продолжительность технологических операций, мин		
		Упругоподатливый узел (известный)	Петлевой узел (известный)	БВСС (предлагаемый)
1.	Строповка стеновой панели	1,5	1,5	1,5
2.	Подача стеновой панели к месту установки	1	1	1
3.	Подготовка места опускания стеновой панели	5	5	5
4.	Установка оснастки для принудительного монтажа	–	–	10
5.	Прием и установка стеновой панели	5	5	5
6.	Выверка стеновой панели в плане	5	5	–

Продолжение таблицы 4

№ п/п	Наименование технологических операций	Продолжительность технологических операций, мин		
		Упругоподат ливый узел (известный)	Петлевой узел (известный)	БВСС (предла гаемый)
7.	Временное крепление стеновой панели	6	6	—
8.	Расстроповка стеновой панели	1	1	1
9.	Выверка стеновой панели по вертикали	7	7	—
10.	Устройство вертикального межпанельного узла стеновых панелей	283,14	10	—
11.	Подготовка следующей стеновой панели к монтажу	12	20	6
12.	Снятие временного крепления с предыдущей стеновой панели	3	3	3
Итого:		329,64	64,5	32,5

Анализ полученных данных, таблица 4 позволяет сделать вывод о снижении продолжительности процесса монтажа стеновых панелей с применением предлагаемой технологии в сравнении с упругоподатливым узлом на 90 %, в сравнении с петлевым узлом на 49,6 %.

Разработаны технологический регламент на изготовление стеновых панелей и технологическая карта на их установку, которые внедрены в строительные организации ООО «Энсейв Констракшн» и ООО «БФА-Строй».

В технологическом регламенте представлены требования к качеству и физико-механическим характеристикам применяемых изделий и материалов, правила их приемки, последовательность изготовления стеновых панелей, установки деталей быстромонтируемого вертикального скользящего соединения, критерии качества, предъявляемые к монтируемым конструкциям.

В технологической карте изложены разделы технологии и организации выполнения основных этапов установки стеновых панелей с применением предлагаемой технологии быстромонтируемого вертикального скользящего соединения (БВСС), входной контроль и хранение материалов и изделий, применяемых в процессе их установки. Для разработки техно-

логической карты на монтаж стеновых панелей с применением предлагаемой автором технологии и технико-экономического обоснования использовались нормативные данные трудозатрат на их установку.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования получены следующие научные результаты:

1. На основании сравнительного структурно-функционального анализа известных методов вертикальных узловых соединений ограждающих конструкций панельных зданий (упругоподатливый и петлевой), определены наиболее характерные дефекты, возникающие в процессе монтажа;

2. Предложена, исследована и запатентована технология устройства быстромонтируемого вертикального скользящего соединения (БВСС) узловых соединений железобетонных стеновых панелей зданий, позволяющая упростить конструкцию панели (количество монтажных узлов снижается в 4 раза в сравнении с упругоподатливым узлом и в 8 раз – с петлевым), сокращая при этом затраты на монтажные детали и при этом не повышая существенно металлоемкость (ниже на 55% к упругоподатливому узлу, выше на 12% к петлевому) и снижая трудоемкость устройства вертикальных узлов соединения стеновых панелей;

3. Разработаны экспериментальные модели железобетонных ограждающих конструкций с использованием программного комплекса Solid Works для проведения исследований предлагаемого конструктивно-технологического решения узлового соединения ограждающих конструкций, проведена оценка качества с помощью основных параметров анализа разрабатываемых моделей, в виде коэффициента детерминации (96–99%, при нормальных значениях не менее 95%) и средней ошибки аппроксимации (1,9–5,3%, при нормальных значениях не более 8%);

4. Максимальная нагрузка при проведении экспериментальных исследований на выдергивание монтажных деталей из тела стеновых панелей при применении предлагаемой технологии устройства быстромонтируемого вертикального скользящего соединения составила 118 кН, при применении бессварного петлевого узла – 20 кН. Таким образом, применение предлагаемой технологии устройства узлового соединения позволит сократить количество монтажных узлов внутри одного вертикального стыка стеновых панелей;

5. На основании результата регрессионного анализа данных, полученных в процессе эксперимента, спрогнозированы показатели вертикальных узловых соединений, позволяющие сократить количество отдельных

монтажных фрагментов внутри межпанельных стыков, что в 4 раза сокращает металлоемкость узловых соединений;

6. Результаты производственного внедрения технологического регламента производства стеновых панелей, технологической карты на их установку и анализа технологических параметров предлагаемой технологии устройства вертикальных узловых соединений на этапах изготовления и монтажа стеновых панелей позволяют сделать следующие выводы: процессы изготовления конструкций в заводских условиях не имеют существенной разницы в сравнительных показателях, в свою очередь себестоимость, материалоемкость и трудоемкость имеют значительные различия. По отношению к упругоподатливому узловому соединению применение предлагаемой технологии позволит сократить на 29% себестоимость монтажных деталей, на 45% металлоемкость соединений и на 41% трудоемкость установки монтажных деталей. По отношению к петлевому стыку – на 61% сокращается себестоимость монтажных деталей, при повышении на 13% трудоемкости установки монтажных деталей;

7. Разработаны технологический регламент и технологические карты по реализации новой технологии устройства вертикальных узловых соединений стеновых панелей зданий и установке ограждающих конструкций с применением разработанного комплекта оснастки.

СПИСОК НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, входящем в перечень, рекомендованных ВАК:

1. **Белозеров П. Г.** Экспериментальное исследование вертикального узлового соединения железобетонных ограждающих конструкций // Инновации и инвестиции. 2024. № 5. С. 560-563 (0,19 п.л.);

2. **Белозеров П. Г.** Планирование эксперимента узловых соединений элементов железобетонных конструкций с применением технологии быстромонтируемого вертикального скользящего соединения // Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ». 2023. № 6. С. 1–6 (0,3 п. л.);

3. Юдина А. Ф., **Белозеров П. Г.** Виды узловых соединений в современном панельном строительстве, их преимущества и недостатки // Вестник гражданских инженеров, 2020. С. 97 – 102. DOI: 10.23968/1999-5571-2021-18-1-97-102(0,28 п. л.).

Публикации в источниках, индексируемых Scopus Web of Science:

4. Юдина А. Ф., Демичев Я. В., **Белозеров П. Г.** Innovative solutions for connecting elements of increased factory ready of large-panel buildings in

the Arctic zone (Инновационные решения для соединительных элементов повышенной заводской готовности крупнопанельных зданий в арктической зоне // Transportation Research Procedia СПб (Россия) Scopus. 2021 – Т. 57. – С. 748–754 (0,78 п. л.). DOI 10.1016/j.trpro. 2021.09.109.

Патенты:

5. RU2021118265А. Патент на изобретение патент на изобретение №2781834 «Быстромонтируемое вертикальное скользящее соединение стеновых панелей». / **Белозеров П. Г.** Заявка № 2021118265, приоритет изобретения 05 марта 2021 г. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 18 октября 2022 г. Срок действия исключительного права на изобретение истекает 05 марта 2041 г.

Публикации в других изданиях:

6. **Белозеров П. Г.**, Юдина А. Ф. Инновации в панельном строительстве // Сборник статей конференции. Актуальные проблемы строительства: материалы 71-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных 4–6 апреля 2018 года [в 3 ч.]. – Ч. 1. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2018. – С. 3–7. (0,28 п. л.);

7. **Белозеров П. Г.**, Юдина А. Ф. Тросовые петли в качестве межпанельного стыка // Сборник статей конференции. Материалы 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов университета, 2018. – С. 75–77. (0,25 п. л.).

Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 13.09.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,5. Тираж 120 экз. Заказ 108.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А

