

*На правах рукописи*



**КАГАН Мария Николаевна**

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА СТЫКОВ  
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШВОВ  
В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

Специальность 2.1.7. Технология и организация строительства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Челябинск  
2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель:

**Байбурин Альберт Халитович,**  
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты:

**Несветаев Григорий Васильевич,**  
доктор технических наук, профессор,  
ФГБОУ ВО «Донской государственный  
технический университет», кафедра  
«Технология строительного производства»,  
профессор;

**Фомин Никита Игоревич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Уральский федеральный  
университет имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина», институт строительства  
и архитектуры, директор; кафедра  
промышленного, гражданского строительства  
и экспертизы недвижимости, заведующий  
кафедрой

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный  
архитектурно-строительный университет  
(Сибстрин)»

Защита состоится «09» июня 2026 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д. 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 и на сайте Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета: <https://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/kagan-mariya-nikolaevna>

Автореферат разослан «20» апреля 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



А.Н. Гайдо

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** В практике строительства широко используются монолитные, сборные и сборно-монолитные железобетонные конструкции, при этом неминуемо возникает вопрос обеспечения надежного контакта вновь укладываемой бетонной смеси («новая бетонная смесь») с ранее уложенной, набравшей определенную прочность («старый бетон»). Согласно работам Г.В. Несветаева, А.А. Коянкина, С.И. Иванова, М.А. Мирзажоннова, Дж. Мохаммеда Навшада, С. Исса, наличие бетонного шва существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов устройства. Монолитность конструкции предполагает её единые свойства на всех участках. Однако в зоне технологических швов наблюдается снижение прочности, плотности и других свойств монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций. В связи с этим в настоящее время актуальны исследования, направленные на технологические способы повышения качества и эксплуатационной надежности рабочих швов – запланированных и незапланированных – и стыков при устройстве железобетонных конструкций.

**Степень разработки темы исследования.** Данной области посвящены работы Гвоздева А.А., Руфферта Г., Коянкина А.А., Исса С., Джержеса Н., Иванова С.И., Зильфербранда Дж., Уотерса Т., Критчелла П., Таркатука В.И., Несветаева Г.В., Головнева С.Г., Карлсесибергуса А., Колчеданцева Л.М., Петракова Б.И., Тамразяна А.Г., Юдиной А.Ф., Пухаренко Ю.В., Королева Е.В., Несветаева Г.В., Лapidуса А.А., Фомина Н.И., Миккульского В.Г., Михайлова Н.В., Сидорова А.В., Прыщенко Ю.И., Цыбикдоржиева В.Б., Шубиной Т.С., Кириллова А.А., Мустафина Р.Р., Утенкова В.Ф., Юдиной А.Ф., Молодина В.В., Фомина Н.И., Хе Я., Джулио Е, Сантоса Д.С., Ху С.Л., Муслим Ф., Редди Б.С.К., Афшин Х., Ахмеда С.М. Согласно литературному обзору, прочность и долговечность контакта вновь укладываемой бетонной смеси и «старого» бетона-основания зависит от нескольких факторов: характеристик основания «старого» бетона; характеристик «новой» бетонной смеси и технологии ее укладки на основание; условий окружающей среды. Вопросы влияния технологических параметров вновь укладываемой бетонной смеси и технологии ее укладки на основание изучены недостаточно.

**Цели и задачи исследования.** Целью работы является совершенствование технологии формирования стыков и швов при устройстве монолитных, сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций. Задачи исследования:

1. Выявить технологические факторы, влияющие на прочность зоны контакта бетонов;
2. Экспериментально определить закономерности влияния технологических факторов бетонирования на прочность зоны контакта бетонов после 28 суток твердения в нормальных условиях;

3. Разработать способы выполнения качественного соединения вновь укладываемой бетонной смеси с ранее уложенной при устройстве монолитных и сборных конструкций;

4. Провести модельные лабораторные эксперименты по исследованию работы железобетонных конструкций, выполненных с рабочими швами бетонирования, а также исследовать влияние технологических факторов устройства шва на работу конструкции под нагрузкой на примере изгибаемых балок;

5. Разработать технологический регламент по устройству монолитных конструкций с рабочими швами бетонирования, не снижающими несущей способности конструкции и ее жесткостных показателей;

6. Осуществить опытно-промышленное внедрение предложенной технологии, а также произвести технико-экономическую оценку предложенных способов повышения прочности контакта бетонов в монолитном строительстве.

**Объект исследования** – стыки и технологические швы в железобетонных конструкциях.

**Предмет исследования** – технология устройства стыков и швов в железобетонных конструкциях.

**Научная новизна работы:**

1. Установлены технологические факторы, влияющие на прочность контактной зоны бетонного стыка.

2. Определена количественная зависимость между технологическими параметрами вновь укладываемой бетонной смеси (вид бетонной смеси и уровень водородного показателя затворяющей жидкости) и качеством соединения «нового» слоя с бетонным основанием по критерию прочности бетона в зоне контакта на сжатие, срез и отрыв.

3. Доказана и научно обоснована целесообразность устройства технологических швов бетонирования и замоноличивания стыков в железобетонных конструкциях с применением бетонных смесей на шлакощелочных вяжущих. Разработан новый метод устройства рабочих швов бетонирования.

**Теоретическая значимость работы.** Теоретическая значимость заключается в развитии научных представлений:

– о зависимости влияния на качество соединения бетонов при устройстве технологических швов бетонирования и замоноличивании стыков железобетонных конструкций по критериям прочности бетона контактной зоны на сжатие, срез и отрыв, технологических параметров устройства соединения: физико-химические свойства вновь укладываемой бетонной смеси, наличие обработки поверхности «старого» бетона и его возраста.

– о теоретических основах подбора технологических параметров устройства рабочих швов бетонирования в железобетонных конструкциях при использовании шлакощелочных бетонных смесей.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость заключается в получении следующих результатов:

- предложен новый технологический способ устройства соединения бетонов разных возрастов с применением шлакощелочных бетонных смесей, проведены опытно-производственные исследования предложенной технологии устройства рабочего шва бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях, исследованы и уточнены технологические параметры соединения разновозрастных бетонов, повышающие эксплуатационную надежность швов и стыков в железобетонных конструкциях;

- на основе предложенного способа разработаны и внедрены технологические карты на замоноличивание стыков и устройство запланированного рабочего шва бетонирования в плитах перекрытий с использованием бетонных смесей на шлаковом вяжущем, а также даны технологические рекомендации по устройству незапланированного рабочего шва бетонирования в фундаментных плитах смазкой зоны контакта шлакощелочным раствором;

- произведена оценка организационно-технологической и технико-экономической эффективности применения предложенного способа устройства рабочего шва бетонирования в железобетонной плите перекрытия. Результаты исследования приняты для использования в практической деятельности предприятиями строительной отрасли.

**Методология и методы диссертационного исследования.** В работе использовались стандартные методики определения физико-механических свойств строительных растворов и бетонов, методы лабораторного и производственного экспериментов, вариантное технологическое проектирование, методы математической статистики при обработке экспериментальных данных.

**Положения, выносимые на защиту:**

- результаты исследования влияния технологических факторов на проникновение «новой» среды в бетон, в том числе типа и уровня pH среды, ориентации слоев укладки бетонного основания по отношению к расположению поверхности контакта, механической обработки поверхности контакта, акустической обработки;

- влияние на качество контакта ряда технологических факторов устройства соединения: типа бетонной смеси и уровня pH затворяющего раствора вновь укладываемого слоя при различном возрасте ранее уложенного слоя (1 сут. и 28 сут. выдерживания в нормальных условиях твердения);

- технологические параметры устройства рабочих швов бетонирования и стыков в железобетонных конструкциях с использованием шлакощелочных бетонных смесей.

**Достоверность результатов исследований.** Степень достоверности результатов проведенных исследований обоснована проведением необходимого объема экспериментальных исследований, применением методов математической статистики при обработке экспериментальных данных. Степень достоверности подтверждается внедрением в практическую деятельность результатов исследований на предприятиях строительной отрасли.

**Апробация диссертационной работы.** Основные результаты работы представлены на: международной научно-технической конференции «Пром-Инжиниринг 2017» (г. Санкт-Петербург, 2017); 69-й и 70-й научной конференции профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ (г. Челябинск, 2017 и 2018); II международной научно-технической конференции «Строительство, архитектура и техносферная безопасность» (г. Челябинск, 2018); 73-й и 74-й научной конференции профессорско-преподавательского состава ЮУрГУ (г. Челябинск, 2021 и 2022); II Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора В.А. Афанасьева (г. Санкт-Петербург, 2023).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 11 научных работ, в том числе **7 работ** в российских рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, **3 статьи** в изданиях, входящих в международную базу цитирования Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 142 наименований, 6 приложений. Диссертация изложена на 184 страницах машинописного текста и содержит 57 рисунков, 22 таблицы.

**Содержание диссертационной работы соответствует пунктам паспорта научной специальности 2.1.7 – Технология и организация строительства:**

**п.1. Прогнозирование и оптимизация параметров технологических процессов и систем организации строительства и его производственной базы, повышение организационно-технологической надежности строительства.** Разработка параметров системы управления инвестиционно-строительными проектами.

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

Автор выражает благодарность за ценные консультации к.т.н., доценту С.Б. Ковалю и д.т.н., профессору С.Б. Сапожникову.

## **ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ**

**Во введении** изложена актуальность темы, степень разработки темы исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлена схема диссертационного исследования.

**В первой главе «Анализ конструктивных и технологических особенностей устройства стыков и швов в железобетонных конструкциях»** приведены классификация швов и стыков в железобетонных конструкциях, обзор и анализ технологии устройства технологических швов бетонирования и стыков, выявлены основные недостатки и дефекты в процессе их устройства, проведен анализ их влияния на работу конструкций. Наличие бетонного шва существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов его устройства. Частым дефектом бетонирования и ухода при устройстве рабочего шва является незапланированный перерыв в бетонировании конструкции, в результате происходит образование наклонных поверхностей в плитах, наклонных швов в стенах, балках и пилонах. Поскольку для железобетонных конструкций, монолитных и сборных, наряду с обеспечением требуемых прочностных и деформационных свойств важным является обеспечение прочности сцепления с основанием, вопрос повышения прочности зоны контакта является актуальным.

**Во второй главе «Исследования по выявлению факторов, влияющих на прочность бетона контактной зоны»** анализ литературных источников выявил технологические факторы: 1) механическая обработка поверхности, увеличение площади контакта матрицами; 2) тепловая обработка бетона; 3) поверхностно-активные вещества и клеевые составы; 4) электромагнитная обработка. Помимо теоретических исследований, были проведены экспериментальные – по определению проникающей способности различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов (определение факторов, влияющих на силу сцепления нового слоя бетона с ранее уложенным). Исследовалось влагопоглощение бетона в 28-суточном возрасте в зависимости от технологических факторов: 1) химического состава проникающей среды; 2) ориентации слоев укладки «старого» бетона по отношению к расположению поверхности рабочего шва; 3) зачистки поверхности зоны контакта бетона от цементной пленки. В качестве «новой» среды использовались водные растворы. Также была выдвинута гипотеза о влиянии акустической обработки в начальный период взаимодействия новой среды с бетонными образцами на окончательное значение влагопоглощения. Экспериментальные данные (рис.1, 2) показывают, что

оказывают влияние все рассмотренные факторы. При параллельном расположении слоев (рис. 1а, в) влагопоглощение практически не зависит от типа раствора, при перпендикулярном (рис. 1б, г) наблюдается увеличение влагопоглощения для щелочной среды, особенно с увеличением её рН (для защищенной – рис. 1б, и для незащищенной – рис. 1г поверхности влагонасыщения).

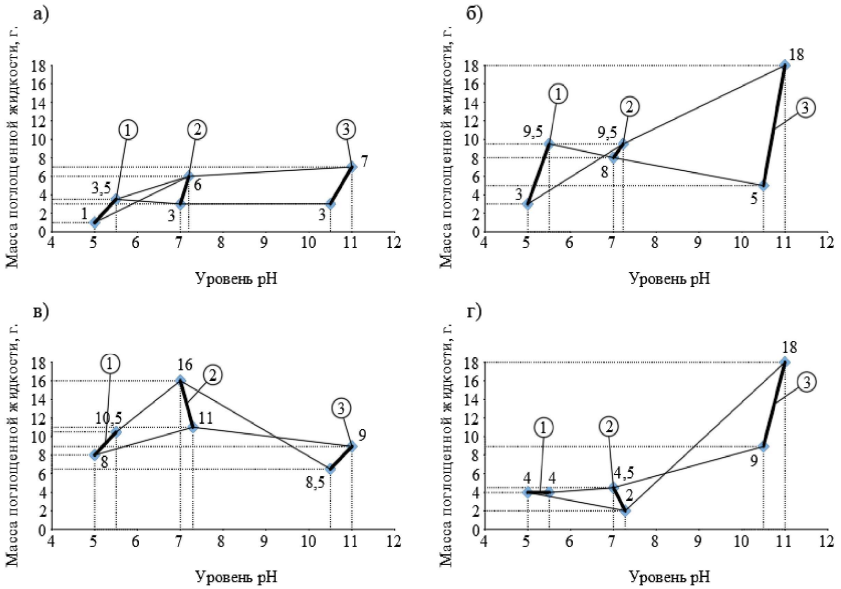


Рисунок 1 – Влагопоглощение бетона в зависимости от типа среды и рН раствора: 1, 2, 3 – тип раствора, соответственно – кислый, нейтральный, щелочной; поверхность влагонасыщения: а, б – защищенная; в, г – незащищенная; характер расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения: а, в – параллельный; б, г – перпендикулярный

При параллельном расположении слоев (рис. 2а) акустическое воздействие приводит к увеличению влагопоглощения, а при перпендикулярном (рис. 2б) – обратное влияние: снижение влагопоглощения в 3 – 5 раз. Акустическая обработка не приводит к существенному улучшению показателей влагопоглощения образцов с максимальным результатом абсолютного значения, достигнутым сочетанием более значимых технологических факторов.

Зачистка поверхности контакта влияет на влагопоглощение бетона в зависимости от характера расположения слоев укладки относительно

плоскости контакта: при параллельном наблюдается увеличение влагопоглощения при отсутствии зачистки в 1,29–5,30 раз; при перпендикулярном – обратное влияние. Для щелочной среды с высоким уровнем pH состояние контактной поверхности образцов не оказывает влияния.

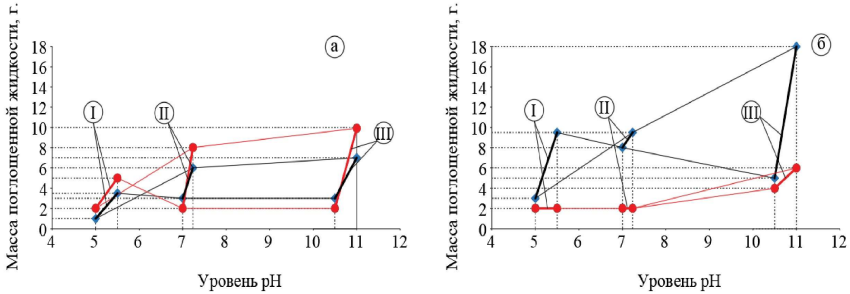


Рисунок 2 – Влагопоглощение бетона: а – параллельно плоскости влагопоглощения, б – перпендикулярно плоскости влагопоглощения; I, II, III – кислая, нейтральная и щелочная среды соответственно; --- - с акустическим воздействием, --- - без акустического воздействия

В третьей главе «*Экспериментальные исследования прочности контактной зоны бетонов*» приведена методология экспериментальных исследований, представлены характеристики используемых материалов, экспериментальные результаты и анализ полученных данных. В качестве определяющего технологического фактора принят тип и уровень pH новой среды – укладываемой («новой») бетонной смеси. Эксперименты проводились на цементных и шлакощелочных бетонных смесях (табл. 1).

Использовалось поверенное оборудование: электронный pH-метр «PH-009 II». Графики набора прочности составов бетона представлены на рис. 3.

Таблица 1. Составы для изготовления экспериментальных образцов

№ состава	Характеристики затворяющей жидкости			R <sub>28</sub> , МПа	Расход на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				
	Хим. форм.	ρ, г/см <sup>3</sup>	pH		вяжущее	песок	щебень 5-20 мм	Добавка СП-1ВП	затвор. раствор
1	H <sub>2</sub> O	0,998	7,1	47,9 / 51,0	ПЦ М500, 420	770	1050	7	185
2	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1,14	10,9	34,6	Шлак, 425	750	1095	7	170
3	NaOH	1,16	12,4	39,3					

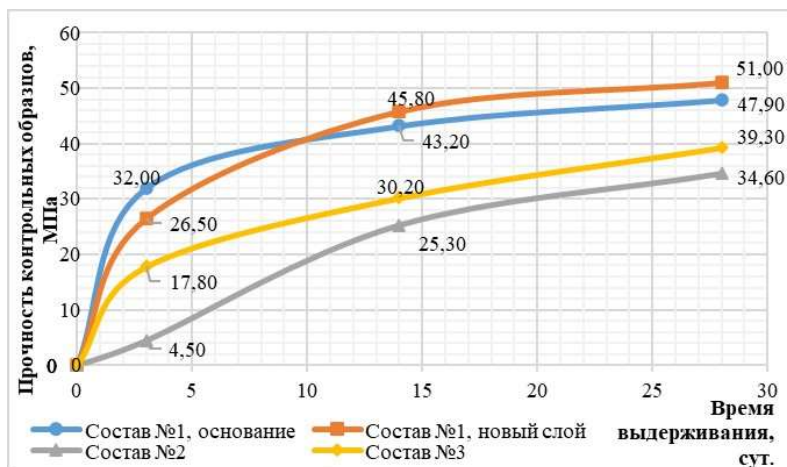
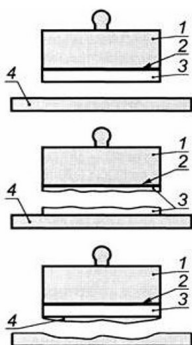


Рисунок 3 – Графики набора прочности бетона различных составов

Использована стандартная методика по ГОСТ Р 58277-2018. Прочность сцепления определяется по силе отрыва образца затвердевшего «нового» бетона от основания – «старой» бетонной плиты. Испытания на отрыв производились на установке ОНИКС-1.ОС.100. Возможны следующие варианты отрыва образцов от плиты-основания (рис. 4).



АТ-1 – адгезионный отрыв по границе образец-основание. Значение, полученное при испытании, равно фактической прочности сцепления;

АТ-2 – когезионный отрыв по телу образца. Прочность сцепления больше значения, полученного при испытании;

АТ-3 – отрыв по телу основания. Прочность сцепления больше значения, полученного при испытании.

Рисунок 4 – Варианты отрыва образца от основания:  
1 – металлический штамп, 2 – клей, 3 – образец, 4 – основание

Для образцов шлакощелочного бетона состава №2 фиксировался характер отрыва АТ-1. Для образцов составов №1 и №3 характерен вариант отрыва АТ-3. Результаты эксперимента, рассчитанные по приведенной

в ГОСТ Р 58277-2018 последовательности, приведены в табл.2. Шлакощелочные вяжущие с низкой рН обладают невысокой активностью, которая существенно возрастает с его увеличением. Результаты совпадают с выводами профессора В.Д. Глуховского, он отмечал увеличение активности шлаковых вяжущих при повышении уровня рН затворяющего раствора.

Аппроксимированы полученные результаты, предложены аналитические зависимости расчета прочности сцепления (прочность на отрыв):

$$Y = 0,00491X_1 + 0,3169, \quad (1)$$

где  $X_1$  – рН затворяющего раствора (вид бетонной смеси). При увеличении уровня рН затворяющего раствора, определяющего вид бетонной смеси, вновь укладываемой бетонной смеси к бетонному основанию («старый» бетон) увеличивается прочность сцепления образцов.

Таблица 2. Прочность адгезии бетонных образцов с основанием

№ состава	Вид смеси, уровень рН затворяющей жидкости	Прочность сцепления А, МПа	Относительная прочность сцепления, %
1	На клинкерном вяжущем, рН = 7,1	0,4	100
2	На шлаковом вяжущем, рН = 10,9	0,2	50
3	На шлаковом вяжущем, рН = 12,4	0,5	125

Определение прочности бетона в зоне контакта на сжатие параллельно плоскости рабочего шва. Формы размером 100x100x100 мм наполовину заполнялись бетонной смесью состава №1 (табл.1). Образцы поделены на две группы: I группа – укладка «нового» слоя бетонной смеси в свободную часть формы производилась через 1 сут. твердения «старого» бетона; II группа – через 28 сут. в условиях нормального твердения. Контактная поверхность «старого» бетона зачищалась. В качестве «новой» бетонной смеси использовались составы № 1, 2 и 3 (табл.1). Определение прочности на сжатие образцов проводилось после 28 сут. нормального хранения на прессе MATEST C040N 1500/250 кН. Нагрузка прикладывалась вдоль плоскости рабочего шва без фиксации образцов скобой (эффект обоймы отсутствовал). Подсчитана средняя прочность образцов, как среднеарифметическое прочности двух половинок «старого» и «нового» бетона, которая сопоставлялась с прочностью комбинированного образца (рис. 5).

Данные по режиму 1/28 показывают, что снижение прочности на 9% происходит для бетонов состава №1. Для образцов шлакощелочного бетона с рН затворяющего раствора 10,9 и 12,4 снижение прочности комбинированного образца с рабочим швом по отношению к средней расчетной величине практически не наблюдается. Для режима 28/28 снижение реальной прочности от средней расчетной для рН 7,1 составляет 11%. С дальнейшим повышением рН этот сброс снижается, для рН 12,4 наблюдается прирост

прочности 5%. Отмечался характер разрушения (рис. 6). Разрушение образцов, выдерживаемых по режиму 1/28 с рН затворителя 7,1 произошло по рабочему шву, а для образцов с рН 10,9 и 12,4 не по плоскости рабочего шва. Прочность рабочего шва данных образцов выше прочности составляющих его бетонов. В случае выдерживания образцов по режиму 28/28 у всех образцов наблюдалось разрушение по плоскости рабочего шва.

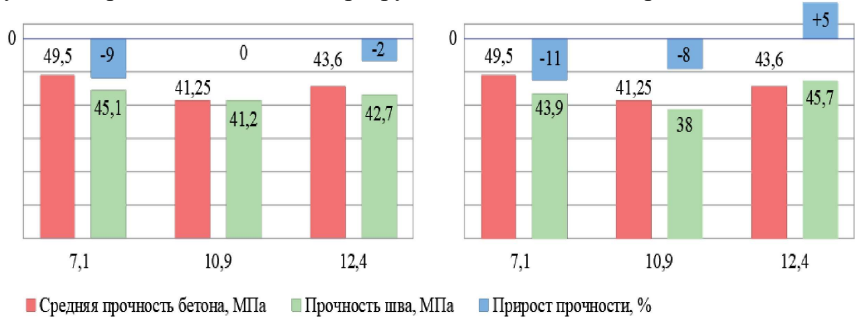


Рисунок 5 – Диаграмма прочности рабочего шва при различном уровне рН: при режиме выдерживания 1/28 (слева); режиме выдерживания 28/28 (справа)



Рисунок 6 – Характер разрушения образцов при выдерживании по режиму 1/28: слева – разрушение образцов рН 7,1; справа – разрушение образцов рН 10,9 и 12,4

Получены уравнения множественной регрессии при устройстве контакта вновь укладываемой бетонной смеси со «старым» бетоном возраста 1 сут. (2) и 28 сут. (3):

$$Y_{(1/28)} = 30,1785 + 0,1477X_1 + 0,2720X_2 \quad (2)$$

$$Y_{(28/28)} = -18,3542 + 2,3210X_1 + 0,8976X_2 \quad (3)$$

где  $Y_{(1/28)}$  – прочность рабочего шва на сжатие при устройстве контакта в возрасте «старого» бетона равном 1 сутки;  $Y_{(28/28)}$  – прочность рабочего шва на сжатие при устройстве контакта в возрасте «старого» бетона равном

28 суток;  $X_1$  – рН затворяющего раствора (вид бетонной смеси);  $X_2$  – прочность «нового» бетона на сжатие ( $R_{28 \text{ н.б.}}$ ).

При устройстве контакта в возрасте «старого» бетона 1 сут. на прочность рабочего шва на сжатие в большей степени влияет прочность «нового» бетона на сжатие, в то время как при возрасте «старого» бетона 28 сут. на момент укладки нового слоя бетонной смеси на данную прочность преимущественно оказывает влияние вид бетонной смеси и уровень рН затворяющего раствора.

Рассматривалось влияние зачистки поверхности бетона-основания при его контакте со шлакощелочной бетонной смесью (состав №2, 3). Методика проведения сохранилась, но часть образцов I группы не подвергалась зачистке контактной поверхности «старого» бетона (результаты в табл. 3). Наблюдается отсутствие потери прочности на сжатие бетона контактной зоны при отказе от зачистки ее поверхности. Представленные данные подтверждают результаты предварительного экспериментального исследования, описанного во 2-й главе.

Таблица 3. Прочность на сжатие комбинированного образца при наличии/отсутствии механической обработки контактной поверхности «старого» бетона

№ состава	рН	$R_{28}$ «старого» бетона, МПа	$R_{28}$ «нового» бетона, МПа	$R_{28}$ среднее, МПа	$R_{28}$ образца, МПа	
					с механической обработкой	без механической обработки
2	10,9	47,9	34,6	41,3	41,2	41,4
3	12,4	47,9	39,3	43,6	42,7	43,0

Определение прочности бетона в зоне контакта на срез. В формах размером  $300 \times 100 \times 100$  мм крайние ячейки размером  $100 \times 100 \times 100$  мм заполнялись бетонной смесью состава №1. Образцы разделены на две группы (дозаполнение формы через 1 сутки и через 28 суток после укладки крайних ячеек) и выдерживались в камере нормального твердения. Затем плоскость контакта подвергалась зачистке, после чего свободную центральную часть формы заполняли бетонной смесью составов № 1, 2, 3 (табл. 1). Испытуемый образец-балочка представлял собой комбинацию «старого» бетона (по краям) и «нового» бетона (в центре). Определение прочности на срез проводилось через 28 сут. нормального хранения после дозаполнения форм на прессе SHENLI WAW-600kH. Нагрузка прикладывалась вдоль плоскости рабочего шва. Напряжение среза определялось как отношение максимальной нагрузки –  $P$  (кг), при которой происходит разрушение образца, к площади одной плоскости среза –  $F$  (см<sup>2</sup>). Данные испытаний в табл. 4 и показаны на рис. 7 (значения приведены в относительном процентном соотношении к контрольному образцу бетона на клинкерном вяжущем с рН = 7,1).

Таблица 4. Прочность бетона рабочего шва на срез

№ состава	Тип смеси, уровень pH затворяющей жидкости	Режим выдерживания	Прочность, МПа
1	Клинкерная, pH = 7,1	1/28	0,21
		28/28	0,92
2	Шлакощелочная, pH = 10,9	1/28	0,16
		28/28	0,76
3	Шлакощелочная, pH = 12,4	1/28	0,47
		28/28	2,62

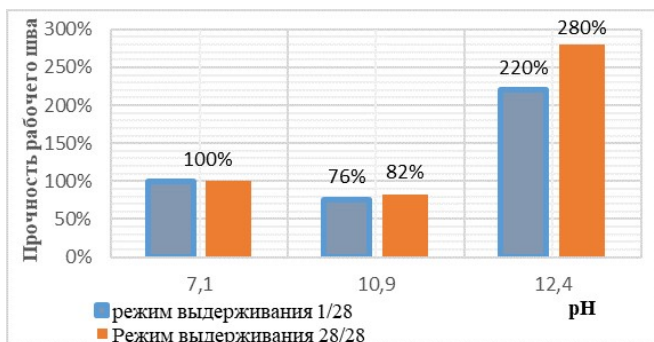


Рисунок 7 – Диаграмма прочности рабочего шва на срез при различном уровне pH затворяющего раствора

Прочность стыка, выполненного через 1 сутки значительно ниже, чем соединения в 28-ми суточном возрасте. Проникающая способность частиц вновь укладываемой бетонной смеси в односуточный бетон ниже из-за его высокого водонасыщения. Наибольший прирост прочности наблюдается в случае укладки в качестве нового слоя шлакощелочной смеси с pH затворяющей жидкости 12,4. Это подтверждает сделанный ранее вывод о том, что с увеличением pH шлакощелочной бетонной смеси увеличивается прочность его соединения с бетоном на клинкерном вяжущем.

Выполнены численные исследования зависимости прочности на срез рабочего шва от технологических факторов его устройства:

$$Y = -1,2161 + 0,1434X_1 + 0,04272X_2, \quad (4)$$

где  $Y$  – прочность рабочего шва на срез;  $X_1$  – вид бетонной смеси с характеризующим его уровнем водородного показателя затворяющего раствора (pH);  $X_2$  – возраст «старого» бетона на момент устройства контакта.

В данной главе также рассмотрены вопросы карбонизации шлакощелочных бетонов и коррозии арматуры.

В четвертой главе «Способы повышения прочности контакта бетонов при устройстве технологических швов и стыков в железобетонных конструкциях» представлены основные принципы и последовательность технологии устройства стыков железобетонных конструкций с использованием шлакощелочных бетонных смесей. Разработана технология устройства технологических швов бетонирования – шов организуется по технологии устройства замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций:

1. На правом и левом участках конструкции с установленными арматурой и опалубкой происходит фиксация отсечек на расстоянии, достаточном для последующей операции виброуплотнения (в пределах 10–12 см). Отсечками могут быть фанерные полосы с отверстиями под арматуру или плоские арматурные каркасы, на которые при помощи вязальной проволоки крепят металлическую сетку с ячейками размером не более 10×10 мм (рис. 8). Поверхность рабочих швов должна быть перпендикулярна оси бетонизируемых колонн и балок, поверхности плит и стен.

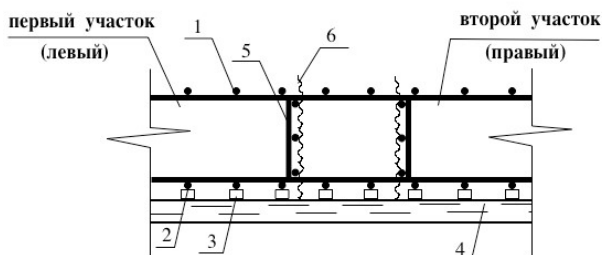


Рисунок 8 – Установка плоских арматурных каркасов и металлической сетки на участках: 1 – верхняя арматура, 2 – нижняя арматура, 3 – фиксаторы защитного слоя, 4 – опалубка; 5 – плоский поддерживающий каркас, 6 – металлическая сетка

2. Ведется укладка бетонной смеси на портландцементе в объеме первого участка и последующее уплотнение бетонной смеси (рис. 9 а).

3. После перерыва, исходя из производственных условий, производится бетонирование второго участка конструкции бетонной смесью на клинкерном вяжущем с последующим виброуплотнением смеси (рис. 9 б).

4. После набора прочности бетонов двух участков осуществляется подготовка зоны контакта: бетон продувают сжатым воздухом и промывают струей воды, арматурные стержни очищают от раствора, при этом снятие цементной пленки с поверхности бетона обоих участков и зачистку поверхностного слоя до крупного заполнителя не производят (рис. 9 в). Излишняя влага из свободного пространства удаляется.

5. В образованное пространство производится укладка шлакощелочной бетонной смеси, на основе шлака с модулем основности  $M_o > 1$ , затворенной щелочным раствором с  $pH > 12$  (рис. 9 г). Класс шлакощелочного бетона должен соответствовать классу бетона конструкции. Толщина укладываемого слоя – не более 1,25 длины рабочей части глубинного вибратора, шаг перестановки вибратора – не более 1,5 радиуса его действия.

6. Уход за бетоном и выдерживание: создание благоприятного температурно-влажностного режима (размещение на поверхности влагонепроницаемых покрытий или пленкообразующих составов, стойких к воздействию щелочей). Уход за шлакощелочными бетонами следует осуществлять с соблюдением требований СП 70.13330.2012 до момента приобретения бетоном прочности, указанной в ППР.

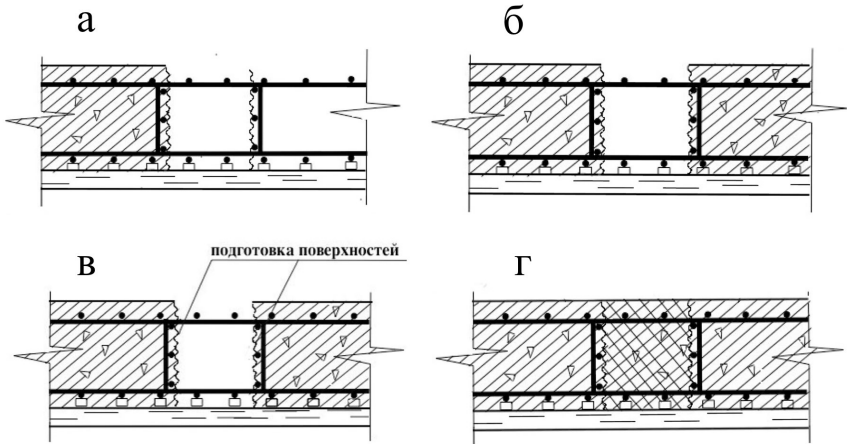


Рисунок 9 – Этапы устройства технологического шва бетонирования

**Опытно-производственное исследование предложенной технологии устройства рабочего шва бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях.** Изготавливались железобетонные балки прямоугольного сечения  $80 \times 160$  (h) и длиной 1400 мм. Образцы армировались плоскими сварными каркасами. Серия образцов включала в себя несколько типов: Т1 – цельные балки без рабочего шва (состав №1, табл. 5), приняты в качестве эталонных; Т2 – из бетона состава №1 с рабочим швом посередине конструкции по существующей технологии, доукладка бетонной смеси осуществлялась через 3 сут. выдерживания в нормальных условиях (НУ) твердения, отсекабель – сетка-рабица по ГОСТ 5336; Т3 и Т4 – по разработанной технологии была уложена бетонная смесь на портландцементе в правый и левый участки, отсеченные друг от друга на расстоянии 8 см.,

уплотнение осуществлялось штыкованием, отсечки выполнялись: для Т3 – сетка-рабица с ячейкой 10x10 мм; для Т4 – неламинированная фанера, через 3 сут. выдерживания в НУ у образцов Т4 извлекались отсечки (фанера) с обоих участков, контактная бетонная поверхность не зачищалась. Укладывалась бетонная смесь на основном шлаке с  $M_o = 1,33$ , затворенном водным раствором гидроксида натрия с  $pH = 12,4$  (состав №2, табл. 5) и уплотнялась штыкованием.

Таблица 5. Составы для изготовления образцов

№ состава	Характеристики жидкости			R <sub>28</sub> , МПа	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг				
	Формула	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	pH		Вязучее	Песок	Щебень 5–20 мм	Добавка СП-1ВП	Затвор. раствор
1	H <sub>2</sub> O	0,998	7,1	33,7	ПЦ М500 360	850	1020	7	190
2	NaOH	1,16	12,4	34,3	Шлак 425	750	1095	7	170

Также изготовлена серия образцов с наклонными швами бетонирования Т5 и Т6. В формы укладывалась бетонная смесь состав №1 с правого и левого участков. Границы правого и левого участка представляют наклонную поверхность. Через 3 сут. – дозаполнение свободного пространства бетонной смесью. В образцах Т5 – шлакощелочной бетонной смесью (состав №2) с уплотнением штыкованием. В образцах Т6 на наклонные поверхности участков нанесен шлакощелочной раствор (в соотношении шлак/щелочной затворитель – 2,5/1). Через 40 минут укладывалась бетонная смесь состава №1 в пределы свободного пространства по нанесенному шлакощелочному раствору и уплотнялась.

Образцы выдерживались в нормальных условиях твердения в течение 28 сут, далее происходила их распалубка. При анализе результатов вычислялись отношения теоретических значений несущей способности и прогибов к опытным  $k_m = M_{on}/M_{ult}$  и  $k_f = f_{8,8,он}/f_{8,8}$ , и отношения полученных коэффициентов для образцов балок со швами к монолитным. Фактическое значение несущей способности превышает определенное теоретически в интервале от 49,2% до 85,7%. В то же время значение жесткости, определенной теоретически, завышено от 6,4% до 26,1% в среднем по всем образцам.

*Нормальные швы.* Классический вертикальный шов бетонирования снижает несущую способность примерно на 10%, жесткость до 17,6%. Ис-

пользование гладкого стыка с заполнением шлакощелочной бетонной смесью приводит показатели по прочности и трещиностойкости к монолитному, однако, примерно на 8% снижает жесткость. Использование сетки-рабицы для устройства стыка со шлакощелочной бетонной смесью снижает эффективность метода.



Рисунок 10 – Экспериментальная установка с образцами: с вертикальным швом (слева) и наклонным (справа)

*Наклонные швы.* Использование смазки шлакощелочным раствором или участка из шлакощелочной бетонной смеси фактически приводит работу балки к монолитной, однако незначительно (до 7%) снижает жесткость. Использование описанной технологии позволяет создать технологический шов равнопрочный монолитному бетону, при рассмотренном угле наклона рабочего шва к нормальному сечению ( $39\text{--}40^\circ$ ). Наблюдается меньшее снижение жесткости по сравнению с классическим швом бетонирования. Щелочной компонент, содержащийся во вновь укладываемом шлакощелочном растворе или бетонной смеси, активизирует непрореагировавшие клинкерные частицы уложенного ранее бетона, что приводит к повышению прочности этого контакта, это подтверждается экспериментальными данными, представленными в 3 и 4 главах.

В главе произведено определение технологических параметров разработанной технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов:

1. Требования к смесям. Используются основные *шлаки* ( $M_o > 1$ ), *затворитель* – щелочной раствор с уровнем  $pH > 12$ . Определены *способы введения* щелочного компонента, в т.ч. в построечных условиях с использованием самоходных бетономесителей с самозагрузкой. Подбор состава шлакощелочной смеси не является целью данной работы, рекомендованный состав принят на основании обзора специальной литературы [Глуховский В.Д., Безбородов А.В., Задачин Ф.Д., РД 12.18.077-88].

2. Оптимальный возраст «старого» бетона и состояние его контактной поверхности. Прочность бетона рабочего шва на срез при увеличении возраста «старого» бетона с 1 сут до 28 сут возрастает в 4-5 раз – в каждой группе образцов. Наличие в «старом» бетоне суточного возраста свободной воды препятствует проникновению частиц вновь укладываемой бетонной смеси. Однако, увеличение возраста «старого» бетона увеличивает продолжительность устройства всей конструкции и сроки строительства. Оптимальный возраст ранее уложенного слоя к моменту укладки нового – не менее 1 сут. и не более 3 сут. Поверхность «старого» бетона при этом не подвергается механической обработке.

3. Тип и материал отсечки при выполнении вертикальных швов бетонирования с использованием шлакощелочных бетонных смесей: рекомендуемый материал отсечки – дерево или фанера сухая.

4. Технология уплотнения. Организуется участок небольшой ширины – в пределах 10-15 см из шлакощелочного бетона, который необходимо уплотнить. Возможны технологии уплотнения: виброуплотнение – глубинным вибратором, поверхностное виброрейкой (при ограничении по толщине, согласно СП 70.13330.2012); вакуумирование с применением легких съемных щитов и матов; уплотняющие насадки на перфоратор; комбинированный вариант – штыкование на всю глубину стыка, после глубинный вибратор укладывается на поверхность смеси горизонтально по шву, однако данный вариант не является оптимальным в виду высокой жесткости шлакощелочного бетона.

**В пятой главе «Апробация и технико-экономическая эффективность предложенной технологии»** проведен сравнительный анализ графиков производства работ по устройству монолитной железобетонной плиты перекрытия размерами 35х12 м, толщиной 0,2 м: 1) по предложенной автором технологии устройства рабочего шва бетонирования; 2) по технологии устройства рабочего шва бетонирования в соответствии с СП 70.13330.2012. При применении предложенной технологии можно добиться сокращения сроков работ при возведении 10-этажного здания на 20 дней, 16-этажного здания – на 32 дня. Стоимость 1 м<sup>3</sup> шлакощелочной бетонной смеси предложенного состава и характеристик составила 2655,31 руб., 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси на портландцементе аналогичного класса – 4600 руб.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Выявлены технологические факторы, влияющие на прочность зоны контакта бетонов. Влияние на проникновение вновь укладываемых составов в бетон имеет: характер расположения плоскости контакта отно-

сительно слоев укладки бетонной смеси (параллельно или перпендикулярно), что имеет зависимость от вида конструкции; наличие зачистки поверхности контакта от цементной пленки. При контакте с щелочными растворами зачистка бетонной поверхности не влияет на значение влагопоглощения. Установлено влияние акустической обработки на процесс поглощения бетоном растворов новой среды. Наиболее значимое влияние оказывает тип и уровень рН новой среды. Наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с более высоким уровнем рН.

2. Экспериментально определены закономерности влияния технологических факторов бетонирования на прочность зоны контакта бетонов: вида и активности вновь укладываемой бетонной смеси, прочности затвердевшего бетона, при которой устраивается стык/рабочий шов и наличие механической обработки контактной поверхности бетона-основания. Наибольшая прочность стыка наблюдается, когда бетонная смесь на шлаке с модулем основности 1,33, затворенная раствором гидроксида натрия с рН 12,4 формуется к «старому» бетону на клинкерном вяжущем без удаления цементной пленки.

3. Определена целесообразность использования бетонных смесей на шлаковом вяжущем, затворенных щелочными растворами с высоким уровнем рН для устройства технологических швов бетонирования и замоноличивания стыков в сборных железобетонных конструкциях. Предложен новый способ устройства технологических швов бетонирования с использованием шлакощелочных бетонных смесей с высоким уровнем рН затворяющего раствора. Разработаны способы выполнения качественного соединения разновозрастных бетонов при устройстве монолитных и сборных конструкций.

4. Исследовано влияние технологических факторов устройства рабочего шва бетонирования на работу железобетонных конструкций под нагрузкой: вида используемой бетонной смеси, материала ограничителя зоны «старого» бетона при контакте с новым слоем. Определены и научно обоснованы технологические параметры разработанной технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов.

5. Разработаны технологические карты на замоноличивание стыков сборных железобетонных конструкций и устройство монолитных железобетонных плит перекрытия с запланированным рабочим швом бетонирования, не снижающим несущей способности и жесткостных показателей конструкции; даны технологические рекомендации по устройству незапланированного рабочего шва бетонирования в фундаментных плитах смазкой зоны контакта шлакощелочным раствором.

6. Доказана организационно-технологическая и технико-экономическая эффективность разработанных решений. Сокращается продолжительность производства работ по устройству монолитной железобетонной плиты перекрытия на 13%, по сравнению с технологией в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012. Предложенная технология внедрена в деятельность компаний ООО «Символ Бетон», ООО «Конструктив» (тех-заказчик).

## НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### Публикации в периодических научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Каган, М.Н. Исследование проникающей способности различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов, влияющих на его влагопоглощение / **М.Н. Каган**, А.Х. Байбурин, С.Б. Коваль // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура».–2020.–Том 20 № 1.– С. 34–45.

2. Каган, М.Н. Прочность контакта бетонов при устройстве технологических швов и стыков в железобетонных конструкциях/ **М.Н. Каган**, С.Б. Коваль, Л.Б. Мельник, А.Х. Байбурин // Научно-технический журнал «Строительное производство».–2021.–№ 3.– С. 9–18.

3. Каган, М.Н. Влияние технологических факторов на прочность бетона в зоне контакта свежееуложенного слоя с затвердевшим/ **М.Н. Каган**, С.Б. Коваль // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура».–2022.–Том 22. №2. – С. 68–74.

4. Каган, М.Н. Прочность контакта бетонов при устройстве швов и стыков / **М.Н. Каган**, С.Б. Коваль, М.В. Молодцов // Инженерный вестник Дона.– 2023.–№ 6 (102).– С. 503–513.

5. Каган, М.Н. Влияние технологических факторов устройства рабочих швов бетонирования на работу железобетонных конструкций / **М.Н. Каган**, И.С. Дербенцев, С.Б. Коваль, Л.Б. Мельник // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура».–2023.–Том 23. №4. – С. 59–66.

6. **Каган, М.Н.** Технология устройства незапланированного рабочего шва бетонирования с применением шлакощелочного раствора / М.Н. Каган // Инженерный вестник Дона.– 2025.–№ 5.– С. 414–421.

7. **Каган, М.Н.** Технологические параметры устройства рабочих швов и стыков в железобетонных конструкциях с использованием шлакощелочных бетонных смесей/ М.Н. Каган // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура».–2025.–Том 25 № 2.– С. 43–50.

**Публикации в периодических научных изданиях,  
включенных в перечень Scopus**

8. **Kagan, M.N.** Analysis of Various Media Concrete Penetrating Ability Depending on Different Factors Affecting Water Absorption / M.N. Kagan, S.B. Koval // *Procedia Engineering*.–2017.–Vol. 206 (2017).– P. 819–825.

9. **Kagan, M.N.** Research the influence of acoustical treatment of concrete on its water absorption / M.N. Kagan, A.K. Baiburin, S.B. Sapozhnikov // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2018. – Vol. 451.

10. **Kagan, M.N.** New and Old Concrete Adhesion Strength for Construction Joints in Reinforced Concrete Structures / M.N. Kagan // *Lecture Notes in Civil Engineering*.–2024. – Vol. 565. – Pp. 207–217.

**Публикации в других изданиях**

11. **Вахняк (Каган), М.Н.** Сцепление бетона в зоне технологического шва при усилении конструкций. Научный поиск: мат. второй науч. конф. асп. и докторантов. Технические науки. – Челябинск: Изд.центр ЮУрГУ, 2010. – Т.1. – 53–56 с.

-----  
Компьютерная верстка *В. С. Весниной*

Подписано к печати 27.03.2026. Формат 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,3. Тираж 120 экз. Заказ 34.

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