

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

*На правах рукописи*

**Каган Мария Николаевна**

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

2.1.7. Технология и организация строительства

Диссертация  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
Доктор технических наук, доцент  
А.Х. Байбурин

Челябинск – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>1.АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ<br/>ОСОБЕННОСТЕЙ УСТРОЙСТВА СТЫКОВ И ШВОВ<br/>В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....</b>   | <b>13</b> |
| 1.1 Классификация швов и стыков в железобетонных конструкциях.....  | 13        |
| 1.2 Обзор технологии устройства технологических швов и стыков.....  | 18        |
| 1.2.1 Технологические швы в монолитных железобетонных<br>конструкциях.....  | 18        |
| 1.2.2 Стыки в сборно-монолитном строительстве.....  | 25        |
| 1.2.3 Стыки сборных железобетонных конструкций.....   | 29        |
| 1.3 Выявление недостатков и основных дефектов устройства<br>технологических швов и стыков, анализ их влияния на<br>работу конструкций.....  | 34        |
| 1.4 Выводы по главе.....  | 38        |
| <b>2. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ<br/>НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА КОНТАКНОЙ ЗОНЫ.....</b>  | <b>40</b> |
| 2.1 Сцепление бетона в контактной зоне. Теоретические<br>исследования факторов, влияющих на прочность контакта бетонов и<br>способов ее повышения.....  | 40        |
| 2.2 Экспериментальные исследования проникающей способности<br>различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов,<br>влияющих на его влагопоглощение.....   | 48        |
| 2.2.1 Влияние химического состава проникающей среды, ориентации<br>слоев бетона по отношению к плоскости контакта и зачистки<br>поверхности зоны контакта от цементной пленки на влагопоглощение<br>бетона..... | 51        |
| 2.2.2 Влияние акустической обработки бетона на его влагопоглощение.....   | 58        |
| 2.3 Определение наиболее значимых факторов. Основные выводы<br>по главе.....  | 65        |
| <b>3.ЭКСПЕРИМЕНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ<br/>КОНТАКНОЙ ЗОНЫ БЕТОНОВ.....</b>  | <b>67</b> |
| 3.1 Определение прочности сцепления «нового» бетона с<br>основанием из «старого» бетона по ГОСТ Р 58277-2018.....   | 69        |
| 3.1.1 Методика проведения эксперимента.....   | 69        |
| 3.1.2 Средства испытания и вспомогательные устройства.....  | 70        |
| 3.1.3 Изготовление образцов для испытания.....  | 71        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.1.4 Проведение испытания, обработка результатов.....   | 72         |
| 3.2 Определение прочности бетона в зоне контакта на сжатие<br>параллельно плоскости рабочего шва.....  | 77         |
| 3.3 Определение прочности бетона в зоне контакта на срез.....  | 85         |
| 3.4 Коррозия арматуры и карбонизация шлакощелочного бетона.....  | 90         |
| 3.5 Выводы по главе.....   | 93         |
| <b>4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОЧНОСТИ КОНТАКТА<br/>БЕТОНОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШВОВ И СТЫКОВ<br/>В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ.....</b>                                    | <b>95</b>  |
| 4.1 Основные принципы и последовательность технологии устройства<br>стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций<br>с использованием шлакощелочных бетонных смесей..... | 96         |
| 4.2 Разработка технологии устройства вертикальных технологических<br>швов в монолитных железобетонных конструкциях.....  | 97         |
| 4.3 Опытно-производственное исследование предложенной<br>технологии устройства рабочего шва бетонирования в<br>монолитных железобетонных конструкциях.....                               | 102        |
| 4.4 Определение технологических параметров разработанной<br>технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов.....  | 110        |
| 4.4.1 Требования к смесям.....   | 111        |
| 4.4.2 Определение оптимального возраста «старого» бетона и<br>состояния его контактной поверхности.....  | 111        |
| 4.4.3 Определение типа и материала отсечки при выполнении<br>вертикальных швов бетонирования с использованием<br>шлакощелочных бетонных смесей.....                                      | 113        |
| 4.4.4 Технология уплотнения.....   | 114        |
| 4.5 Контракция при контакте бетонов.....   | 115        |
| 4.6 Выводы по главе.....   | 115        |
| <b>5. АПРОБАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ<br/>ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ.....</b>   | <b>118</b> |
| 5.1 Рекомендации по внедрению.....   | 118        |
| 5.2 Организационно-технологическая эффективность<br>разработанных решений.....   | 121        |
| 5.3 Экономическая эффективность разработанных решений.....   | 124        |
| 5.4 Выводы по главе.....   | 125        |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>   | <b>127</b> |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>  | <b>131</b> |
| <b>ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО</b>  |            |

|  |            |
|--|------------|
| <b>ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>   | <b>147</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Результаты исследования влагопоглощения в зависимости от различных технологических факторов .....</b>             | <b>149</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Характеристика гранулированного шлака.....</b>  | <b>154</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Технологическая карта на замоноличивание стыков «колонна-ригель».....</b>   | <b>156</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Технологическая карта на устройство запланированного рабочего шва бетонирования в плите перекрытия.....</b>       | <b>164</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Технологические особенности устройства незапланированного рабочего шва бетонирования в фундаментной плите....</b> | <b>177</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Справки о внедрении результатов исследования .....</b>  | <b>182</b> |

## ВВЕДЕНИЕ

**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 бетонной смесью, набравшей определенную прочность (“старый бетон”).

Согласно работам Г.В. Несветаева, А.А. Коянкина, С.И. Иванова, М.А. Мирзажонова, Дж. Мохаммеда Навшада, С. Исса, Т. Уотерса, наличие бетонного шва существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов его устройства. Монолитность конструкции предполагает её единые свойства на всех участках. По факту же в зоне технологических швов наблюдается снижение прочности, плотности и других необходимых 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. Повышения величины сцепления вновь укладываемой бетонной смеси с ранее уложенной добиваются разными методами: различной по технике выполнения обработкой поверхности бетона; нанесением поверхностно-активных веществ (ПАВ), в том числе клеевых составов; разницей температур нового слоя и бетонного основания; различного рода обработкой; использованием матриц; электромагнитной обработкой. В первую очередь актуальны технологии, направленные на ресурсосбережение и решение экологических вопросов. В виду реализации политики ресурсосбережения – как государственной, так и общемировой – разработки, связанные с использованием техногенного сырья и вторичных материальных ресурсов, имеют особое значение. Это является актуальным для всех регионов Российской Федерации в соответствии

с концепцией стратегического развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года, за счет предлагаемых технологических решений с применением бесклинкерных бетонов щелочной активации, более энергоэффективных, при производстве которых используются отходы металлургической промышленности.

**Степень разработанности 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., Таркатюка В.И., Несветаева Г.В., Головнева С.Г., Карлесгибергуса А., Колчеданцева Л.М., Петракова Б.И., Молодина В.В., Тамразяна А.Г., Юдиной А.Ф., Пухаренко Ю.В., Королева Е.В., Несветаева Г.В., Лapidуса А.А., Фомина Н.И., Микульского 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., Хе Я., Джулио Е, Сантоса Д.С., Ху С.Л., Муслим Ф., Редди Б.С.К., Афшин Х., Ахмеда С.М. Учеными исследовались такие технологические способы улучшения адгезии старого и нового бетона, как механическая обработка поверхности основания, влияние типа обработки на адгезию бетонов, а также влияние температуры бетонного основания на сцепление ранее уложенного слоя бетона с вновь укладываемым. Согласно литературному обзору, прочность и долговечность контакта вновь укладываемой бетонной смеси и «старого» бетона-основания зависит от нескольких факторов: характеристики основания «старого» бетона; характеристики «новой» бетонной смеси и технология ее укладки на основание; условия окружающей среды. При этом 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 взаимосвязь 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:**

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

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

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

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК 2.1.7. Технология и организация строительства, а именно: содержанию специальности по следующим основным направлениям: 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».

**Степень достоверности .** Степень достоверности результатов проведенных исследований обоснована проведением необходимого объема экспериментальных исследований, применением методов математической статистики при обработке экспериментальных данных. Оценка надежности и достоверности статистической совокупности экспериментальных данных показала, что коэффициент вариации находился в допустимых пределах (2,8...14,7 %), а ошибка эксперимента не превысила 7–15 %. Также 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.

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

Общая структура диссертационного исследования представлена в виде блок-схемы на рисунке 1.

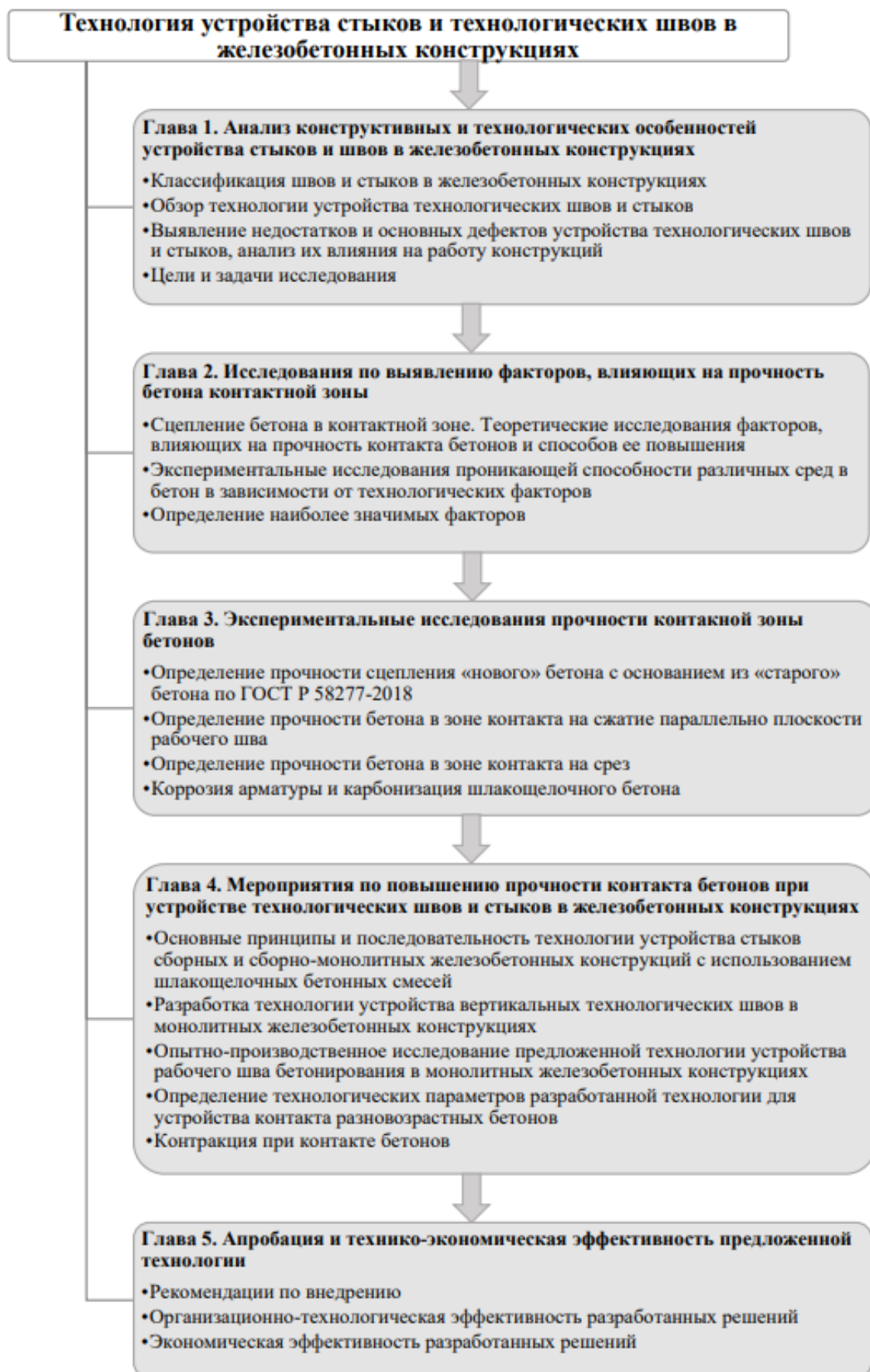


Рисунок 1 – Общая схема диссертационного исследования.

# 1. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ УСТРОЙСТВА СТЫКОВ И ШВОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

## 1.1 Классификация швов и стыков в железобетонных конструкциях

Обеспечение совместной работы слоев бетона при возведении железобетонных конструкций является важным вопросом не только в монолитном строительстве, но и сборном, и сборно-монолитном. С целью разбора технологических особенностей устройства контакта бетонов разных возрастов при различных видах строительства, в этом разделе рассмотрены виды контактных швов.

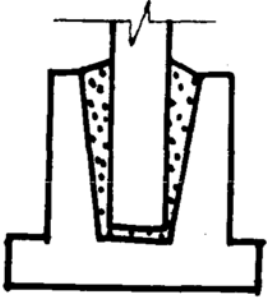
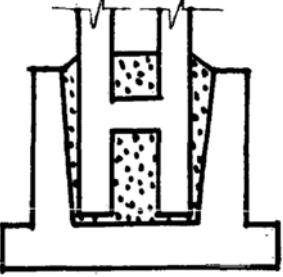
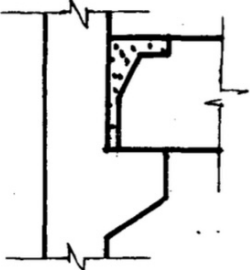
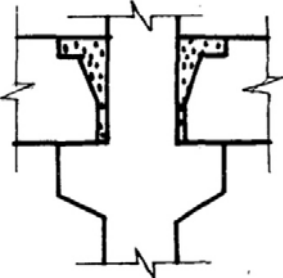
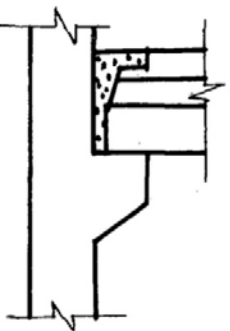
В работе [1] условно классифицированы контактные швы по своему использованию следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 – Классификация контактных швов

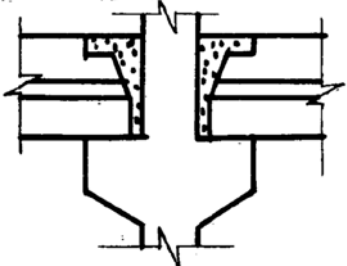
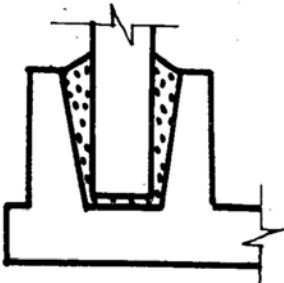
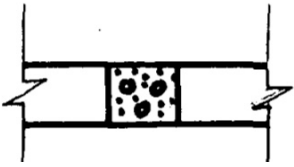
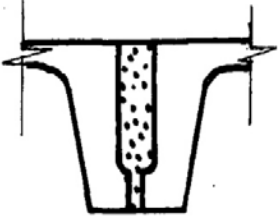
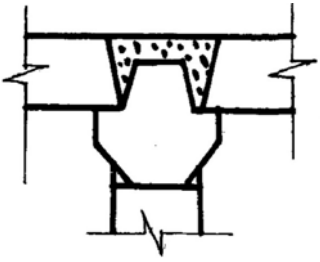
| Вид строительства             | Контактные швы/ стыки                               |   |   |
|-------------------------------|---|---|---|
| Сборное;<br>Сборно-монолитное | Стык между<br>сборным<br>элементами                 | Швы при<br>намоноличивании<br>на сборные части<br>конструкции   | Швы в бетонируемых<br>конструкциях<br>намоноличивания |
| Монолитное                    | Швы в<br>бетонируемых<br>монолитных<br>конструкциях | Швы после длительного перерыва в<br>строительстве               |   |
| Реконструкция                 | Швы в бетоне<br>намоноличивания                     | Швы при усилении намоноличиванием<br>железобетонных конструкций |   |

В сборном строительстве совместная работа конструкций осуществляется за счет замоноличивания стыков и швов. Контактные швы, соответственно, представлены стыками между сборными элементами (соединение колонн, ригелей, панелей и пр.). Классификация таких стыков приведена в диссертации В.В. Молодина и представлена в таблице 2.

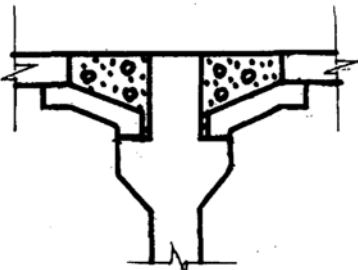

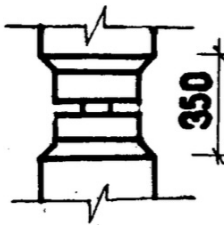
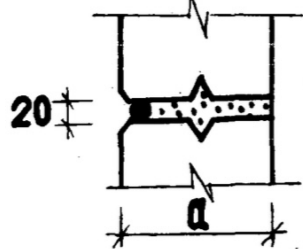
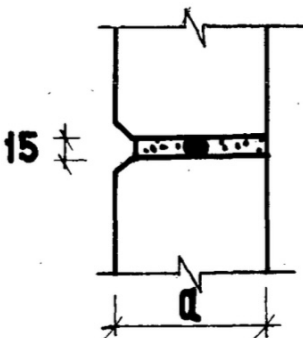
Таблица 2 – Классификация стыков

| пп | Описание конструкции стыка  | Конструктивная схема стыка   | Характерные размеры стыка (м)  |
|----|---|--|--|
| 1  | Стык колонны прямоугольного сечения с фундаментом стаканного типа |    | 0,4 x 0,4; h=0,7<br>0,4 x 0,5; h=0,7<br>0,4 x 0,6; h=0,9<br>0,5 x 0,6; h=0,9<br>0,6 x 0,6; h=0,9<br>0,4 x 0,8; h=0,9<br>0,5 x 0,8; h=0,9 |
| 2  | Стык двухветвевой колонны с фундаментом стаканного типа           |   | 0,4 x 1,6; h=1,25<br>0,5 x 1,6; h=1,25<br>0,5 x 1,9; h=1,25<br>0,6 x 2,3; h=1,25<br>0,6 x 1,9; h=1,25                                    |
| 3  | Стык ригеля прямоугольного сечения с крайними колоннами           |  | $\frac{0,8 \times 0,9}{0,4 \times 0,4}$<br><br>$\frac{0,8 \times 0,9}{0,4 \times 0,6}$   |
| 4  | Стык ригеля прямоугольного сечения со средними колоннами          |  | $\frac{0,8 \times 0,3}{0,4 \times 0,4}$<br><br>$\frac{0,8 \times 0,3}{0,4 \times 0,6}$   |
| 5  | Стык ригеля таврового сечения с крайними колоннами                |  | $\frac{0,8 \times 0,65}{0,4 \times 0,4}$<br><br>$\frac{0,8 \times 0,65}{0,4 \times 0,6}$   |

Продолжение таблицы 2

|    |   |  |  |
|----|---|--|--|
| 6  | Стык ригеля таврового сечения со средними колоннами |    | $0,8 \times 0,65$<br>$0,4 \times 0,4$<br><br>$0,8 \times 0,65$<br>$0,4 \times 0,6$   |
| 7  | Стык стеновой панели резервуара с днищем            |   | $0,12 \times 0,3$<br>$0,14 \times 0,3$<br>$0,16 \times 0,4$<br>$0,16 \times 0,45$<br>$0,18 \times 0,4$<br>$0,23 \times 0,45$<br>$0,24 \times 0,55$<br>$0,3 \times 0,6$<br>$0,32 \times 0,65$ |
| 8  | Вертикальный стык стеновых панелей резервуаров      |  | $0,14 \times 0,06$<br>$0,16 \times 0,06$<br>$0,18 \times 0,15$<br>$0,23 \times 0,15$<br>$0,24 \times 0,2$<br>$0,3 \times 0,2$<br>$0,32 \times 0,2$   |
| 9  | Стык между плитами покрытий и перекрытий            |  | $0,05 \times 0,3$<br>$0,05 \times 0,4$<br>$0,05 \times 0,45$   |
| 10 | Стык торцевых плит с ригелями таврового сечения     |  | $0,95 \times 0,4$  |

Продолжение таблицы 2

|    |   |  |                                     |
|----|---|--|-------------------------------------|
| 11 | Стык колонны с межколонной плитой в зданиях с безбалочными перекрытиями |    | 0,4 x 0,8 x 1,9                     |
| 12 | Стык сваи со сборным свайным оголовком                                  |    | 0,7 x 0,7 x 0,5                     |
| 13 | Стык колонны с колонной   |   | 0,4 x 0,4<br>0,4 x 0,6<br>0,6 x 0,6 |
| 14 | Вертикальный стык стеновых панелей                                      |  | 0,20<br>0,24<br>0,25<br>0,30        |
| 15 | Горизонтальный стык стеновых панелей                                    |  | 0,20<br>0,24<br>0,25<br>0,30        |

В сборно-монолитном строительстве замоноличивание швов сборных конструкций также имеет большое значение, кроме этого присутствуют швы в бетоне намоноличивания, а также швы между сборными элементами и монолитным бетоном. В практике сборно-монолитного строительства используются различные конструктивные решения соединения несущих

элементов. Обзор стыков в сборно-монолитном строительстве произведен в этой главе ниже. Можно отметить достаточное количество достоинств сборно-монолитного строительства, но наряду с ними возникает важная задача, решение которой направлено на обеспечение совместной работы таких конструкций - обеспечение надежного соединения (достижения определенной прочности контактного шва) таких конструкций.

При возведении монолитных конструкций зачастую возникает вопрос организации рабочего шва. Иногда одним из неперенных технологических условий является непрерывная укладка бетонной смеси в конструкцию, однако в большинстве случаев по организационным и технологическим причинам перерывы в бетонировании неизбежны и, следовательно, неизбежно устройство рабочих швов. Перерывы могут быть от технологических до длительных. В обоих случаях возникает вопрос о качестве соединения вновь укладываемого бетона с ранее уложенным.

Объемы реконструкции в настоящее время практически сравнялись с объемом нового строительства. Необходимость в реконструкции возникает в следующих случаях: изменения условий эксплуатации и функционального назначения зданий, из-за необходимости восстановления конструкций в силу физического и морального износа. При реконструкции и техническом перевооружении проводится усиление железобетонных конструкций намоноличиванием (наращиванием, рубашками, обоймами), т.е. создается составная конструкция из нескольких слоев и возникает необходимость обеспечения совместной работы этой конструкции.

Таким образом, обеспечение надежного контакта вновь укладываемого бетона («нового») с бетоном, набравшим определенную прочность («старым») актуально для всех видов строительства, как при организации стыков сборных и сборно-монолитных конструкций, так и при устройстве конструкций в монолитном строительстве (в том числе при возведении фундаментов, подпорных стен, резервуаров прочность и плотность швов особенно важна).

## **1.2 Обзор технологии устройства технологических швов и стыков**

### **1.2.1 Технологические швы в монолитных железобетонных конструкциях**

В настоящее время качество производства технологического шва бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях регламентируется следующими нормативными документами:

- СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 [2];
- СП 435.1325800.2018 Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ [3].

Нормативные документы предъявляют следующие требования к организации рабочего шва бетонирования [2, 3]:

1. При укладке бетонной смеси с перерывами поверхность рабочих швов должна быть перпендикулярна оси бетонируемых колонн и балок, поверхности плит и стен. Для этого производят установку щитков-ограничителей с прорезями для арматурных стержней, которые прикрепляют к щитам опалубки. Для обеспечения надежного сцепления бетона в рабочем шве поверхность ранее уложенного бетона тщательно обрабатывается: кромку схватившегося бетона очищают от цементной пленки и обнажают крупный заполнитель металлической щеткой, продувают сжатым воздухом и промывают струей воды, арматурные стержни очищают от раствора. При этом СП «Несущие и ограждающие конструкции» определяют следующий порядок подготовки основания и укладки «нового» бетона на поверхность ранее уложенного: удалить поверхностную цементную пленку со всей площади бетонирования; срубить наплывы бетона и участки нарушенной структуры; удалить опалубку штраб, пробки и другие ненужные закладные части; очистить поверхность бетона от мусора и пыли, а перед началом бетонирования поверхность старого бетона продуть струей сжатого

воздуха. Прочность бетонного основания при очистке от цементной пленки должна составлять не менее:

0,3 МПа – при очистке водной или воздушной струей;

1,5 МПа – при очистке механической металлической щеткой;

5 МПа – при очистке гидropескоструйной или механической фрезой.

Прочность бетона основания определяется по ГОСТ 22690 [4].

2. Строительной лабораторией определяется продолжительность перерывов в бетонировании, влекущих за собой организацию рабочих швов. Укладка бетонной смеси после таких перерывов допускается после приобретения уложенным бетоном прочности не менее 1,5 МПа.

Рабочие швы следует устраивать при бетонировании [2, 3]:

- колонн - на отметке верха фундамента, низа прогонов балок, подкрановых консолей, верха подкрановых балок и низа капителей колонн;

- стен на отметках верха фундамента и низа перекрытия;

- балок больших размеров, монолитно соединенных с плитами;

- плоских плит - в любом месте параллельно меньшей стороне плиты;

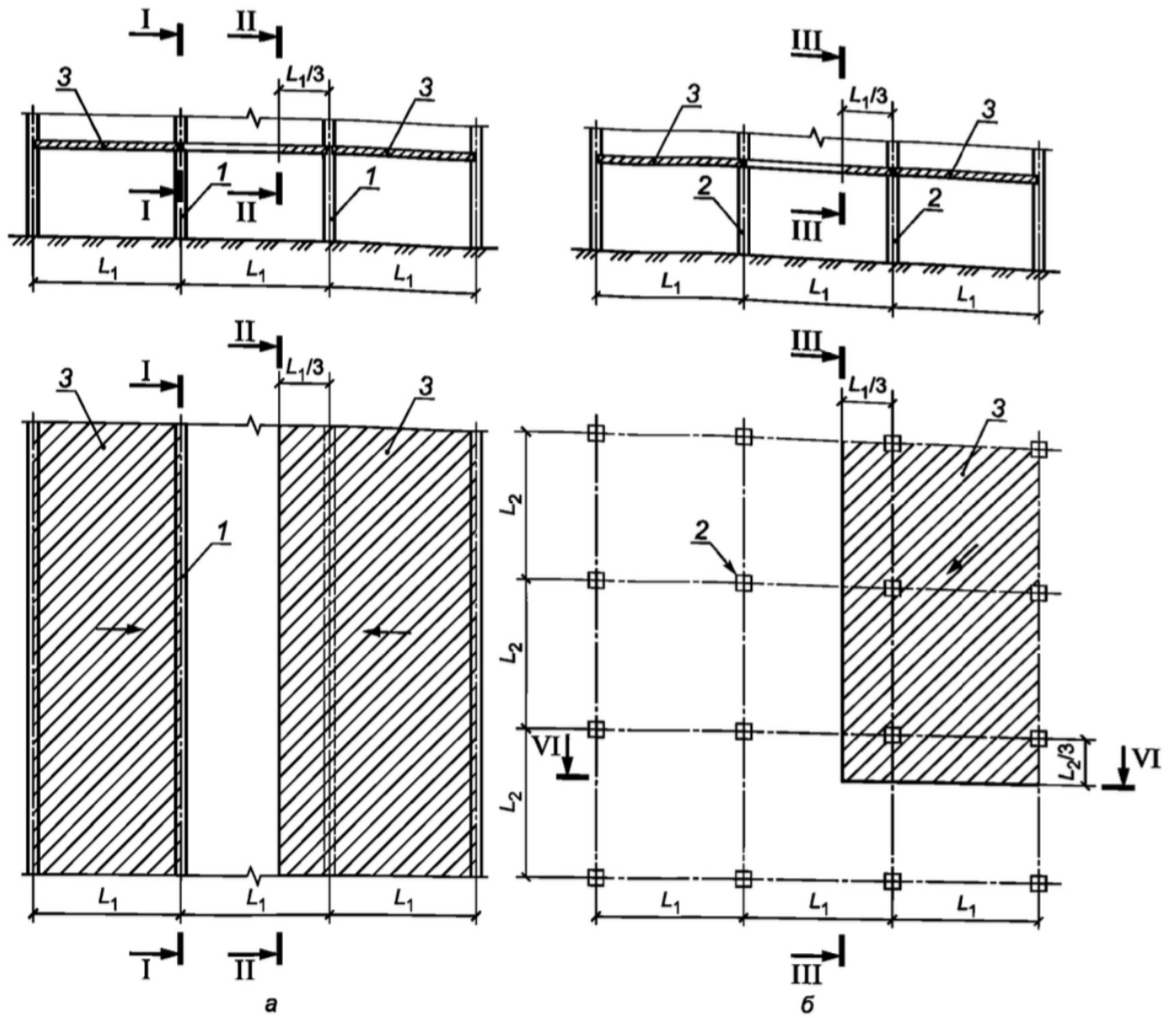
- ребристых перекрытий - в направлении, параллельном второстепенным балкам;

- отдельных балок - в пределах средней трети пролета балок, в направлении, параллельном главным балкам (прогонам), и в пределах двух средних четвертей пролета прогонов и плит;

- массивов, арок, сводов, резервуаров, бункеров, гидротехнических сооружений, мостов и других сложных инженерных сооружений и конструкций - в местах, указанных в проекте.

Устройство вертикальных рабочих швов по перемычкам дверных и оконных проемов, а также горизонтальных швов на верхней отметке стены не допускается.

В источниках [2, 3] приведены схемы расположения рабочих швов в различных конструкциях (рисунки 2 - 4).



а — опирающиеся на стены; б — опирающиеся на колонны; I—IV — места устройства рабочих швов; 1 — стена; 2 — колонна; 3 — перекрытие;  $L_1$  и  $L_2$  — соответственно расстояния между продольными и поперечными координационными осями

Рисунок 2 – Схемы расположения рабочих швов в монолитных плоских плитах-перекрытиях

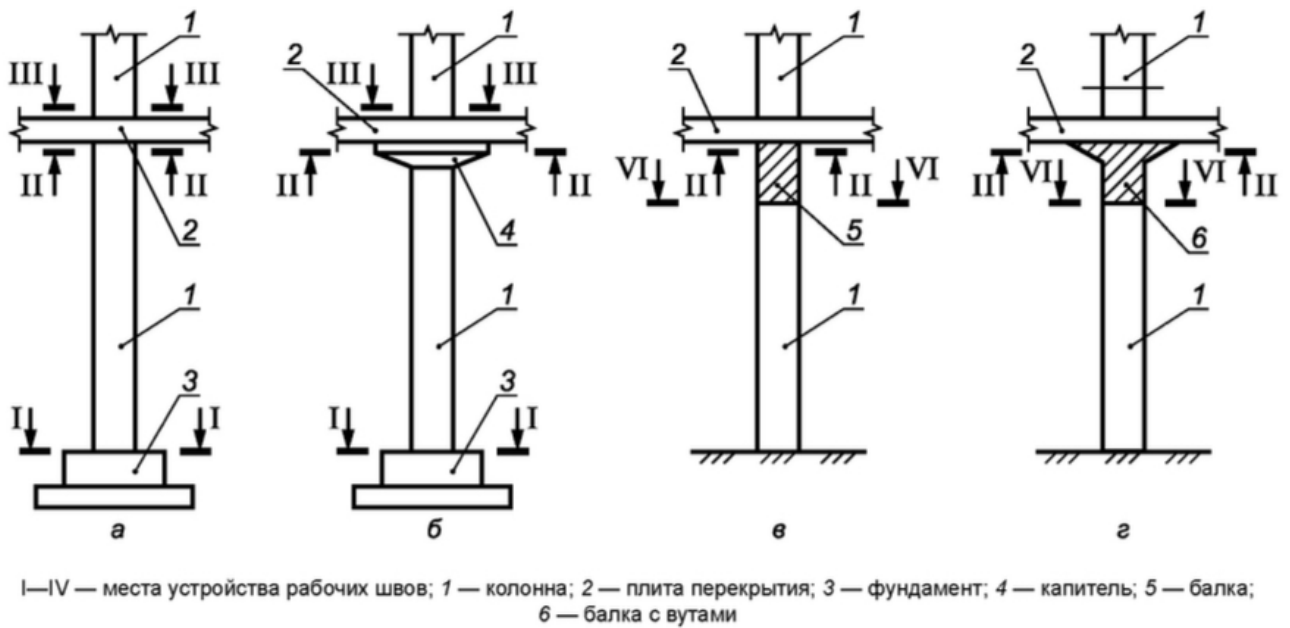
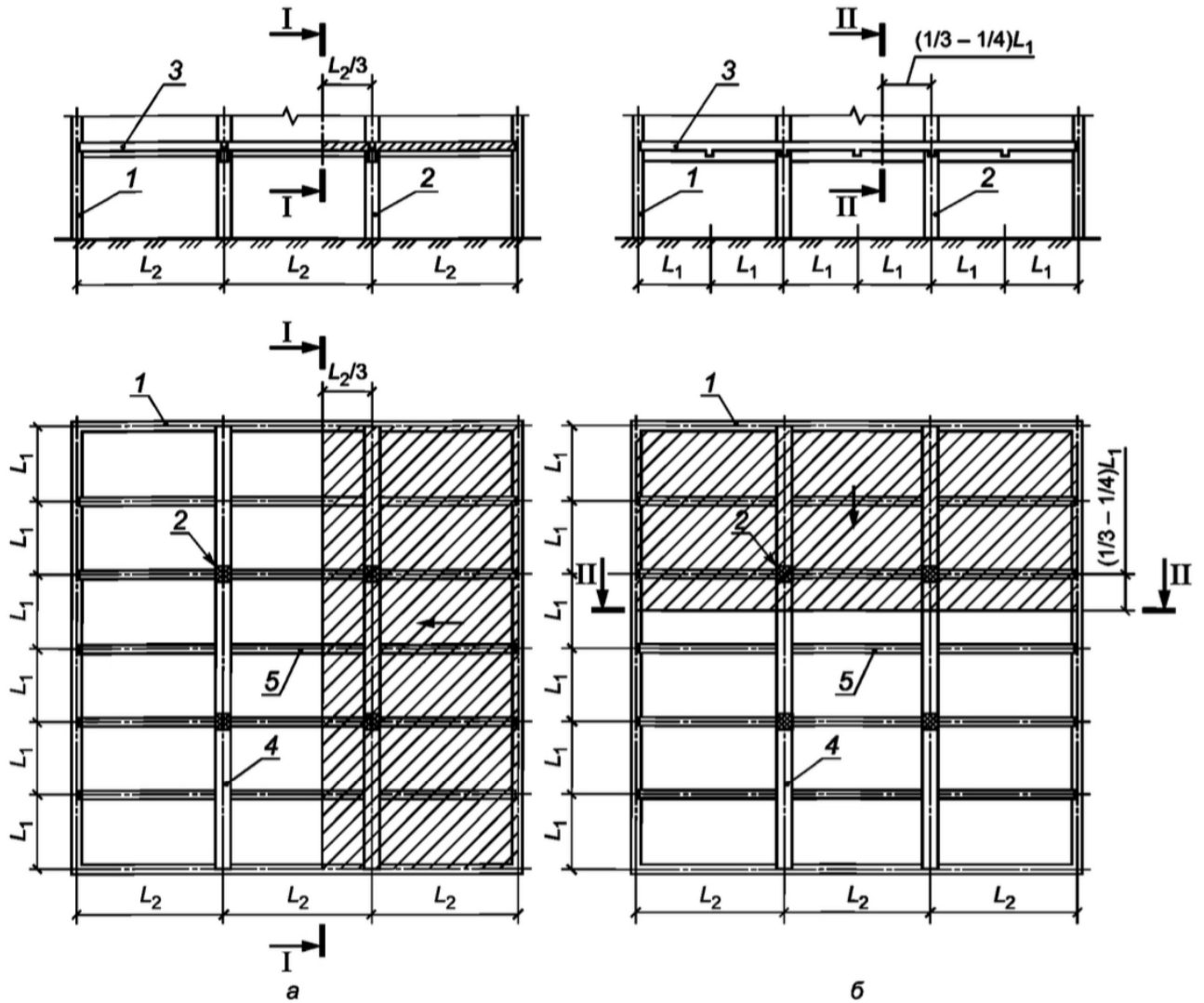


Рисунок 3 – Схемы расположения рабочих швов в колоннах (а, б) и балках (в, г)

В работах [5, 6] рассматривается устройство рабочих швов в фундаментных плитах и приводится заключение, что «идеальное положение шва бетонирования должно совпадать с положением нулевой поперечной силы конструкции, т.е. шов устраивается в месте, где поперечная сила минимальна, а лучше — равна нулю. Это определяется по результатам расчета, а именно, по эпюре поперечных сил».

В нормативной литературе [2,3] приводятся требования о подготовке бетонного основания, включающие в себя соответствующие мероприятия по ее зачистке. Однако в настоящее время в практике строительства с целью снижения трудозатрат швы бетонирования организуются с помощью установки сетки-рабицы с ячейками небольших размеров для удержания частиц крупного заполнителя, что исключает возможность механической обработки поверхности ранее уложенного бетона (рисунок 5).



*a* — при бетонировании в направлении, параллельном главным балкам; *б* — при бетонировании в направлении, параллельном второстепенным балкам; I—II — места устройства рабочих швов; 1 — стена; 2 — колонна; 3 — перекрытие; 4 — главная балка; 5 — второстепенная балка;  $L_1$  — расстояние между второстепенными балками;  $L_2$  — расстояние между главными балками

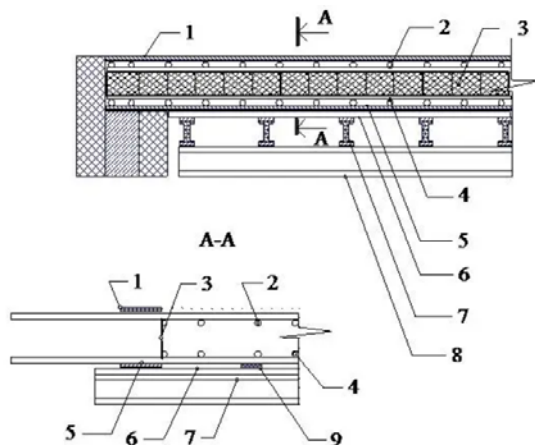
Рисунок 4 – Схемы расположения рабочих швов в монолитных ребристых перекрытиях



Рисунок 5 – Организация рабочего шва бетонирования в возводимой плите

Рассмотрим актуальные технологии устройства рабочих швов бетонирования в пролетных конструкциях [7, 8].

*Устройство рабочего шва бетонирования в монолитной железобетонной плите перекрытия.* Для устройства технологического шва устанавливается арматурный каркас между верхней и нижней арматурной сеткой (рисунок 6), на который с помощью вязальной проволоки закрепляется сетка-рабица с мелкой ячейкой (не более 10x10 мм).



- 1 - верхняя доска для формирования защитного слоя; 2 - верхняя арматурная сетка;
- 3 - сетка-рабица закрепленная на арматурный каркас; 4 - нижняя арматурная сетка;
- 5 - нижняя доска для формирования защитного слоя; 6 - палуба (фанера);
- 7 - поперечная балка;
- 8 - продольная балка;
- 9 - фиксатор арматуры

Рисунок 6 – Устройство рабочего шва бетонирования в монолитных железобетонных плитах перекрытия

При этом под нижнюю арматурную сетку и над верхней по линии прохождения технологического шва укладывают и закрепляют доску, толщиной защитного слоя арматуры. Щиты опалубки смазывают антиадгезионным составом.

*Устройство рабочего шва бетонирования в фундаментной плите.* Бетонируют фундаментную плиту зачастую блоками, которые образуются разрезкой массива поперечными и продольными рабочими швами, объем бетона которых назначают с учетом возможности непрерывного бетонирования (рисунок 7).

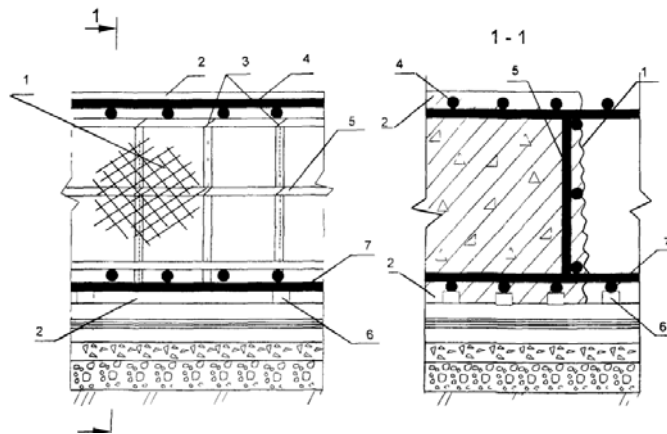


Рисунок 7 – Конструкция рабочего шва в монолитной фундаментной плите

1 - металлическая сетка; 2 — защитный слой бетона; 3 — места крепления сетки вязальной проволокой; 4 - верхняя арматура; 5 - плоский поддерживающий каркас; 6 - пластмассовые фиксаторы; 7 - нижняя арматура

Рабочий шов образуют плоскими каркасами, на которые при помощи вязальной проволоки крепят металлическую сетку с ячейками размером не более 10x10 мм (рисунок 8). Опалубка должна быть очищена от мусора и грязи, а поверхности - покрыты смазкой.



Рисунок 8 – Конструкция рабочего шва с металлотканой сеткой:

1 – металлическая сетка; 2 – защитный слой бетона; 3 – верхняя арматура; 4 – нижняя арматура; 5 –каркас для крепления металлической сетки

При укладке бетонной смеси в массивные густоармированные плиты большой площади (фундаментные плиты, днища резервуаров и отстойников и др.) основным технологическим требованием является непрерывность укладки на всю высоту плиты (0,15... 1,5 м). Для этого плиты разбивают на карты. При большой толщине (более 0,5 м) плиты разбивают на параллельные карты шириной 5... 10 м, оставляя между ними разделительные полосы шириной 1... 1,5 м (рисунок 9, а). Для

обеспечения непрерывной укладки смеси на всю высоту плиту разбивают на блоки без разрезки арматуры, с ограждением блоков металлическими сетками.

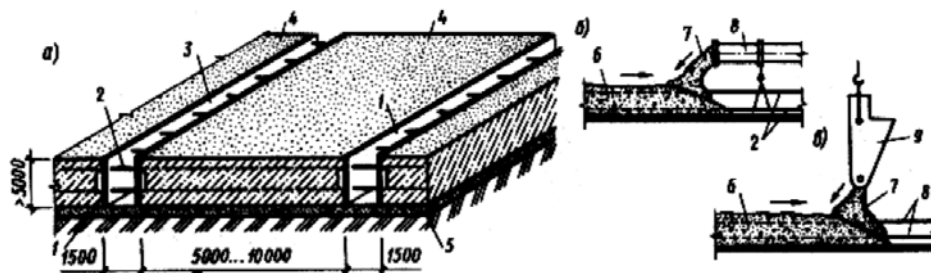


Рисунок 9 – Укладка бетонной смеси в большеразмерные плиты:

а - разбивка на карты бетонирования; б - правила укладки бетонной смеси с применением бетоноводов; в - то же, бадьей; 1 - опалубка разделительной полосы; 2 - арматура; 3 - разделительная полоса; 4 - карта бетонирования; 5 - подстилающий слой; 6 - уложенный бетон; 7 - подаваемая бетонная смесь; 8 - бетоновод; 9 – бадья

Карты бетонируют подряд, т.е. одну за другой. В разделительные полосы смесь укладывают враспор с затвердевшим бетоном карт после снятия опалубки на их границах. Бетонную смесь подвижностью 2...6 см подают на карты бетононасосами, с помощью бетоноукладчиков, эстакад, а также кранами в бадьях. Подавать ее следует в направлении к ранее уложенному бетону, как бы прижимая новые порции к уложенным (рисунок 9, б, в).

### 1.2.2 Стыки в сборно-монолитном строительстве

Рассмотрим несколько типов каркасов, применяемых в сборно-монолитном строительстве и получивших распространение: с использованием плит-несъемной опалубки (на примере технологий «Рекон»), с плоским перекрытием (на примере «Белорусской» серии), безригельный каркас (на базе технологий «КУБ»).

#### Рекон («Чебоксарская серия»)

Данная каркасная система включает в себя: сборные колонны, сборно-монолитные ригели, сборно-монолитное перекрытие, состоящее из сборных плит-несъемной опалубки и монолитного перекрытия. Стык колонна-колонна выполняется «штепсельным». Сечения ригеля могут варьироваться в диапазоне от 20 до 60 см, ширина ригеля зависит от ширины примыкания к колонне. В верхней части ригелей находятся выступающие замкнутые хомуты, которые обеспечивают

единство диска перекрытия (связь со сборно-монолитной плитой перекрытия) за счет установленной дополнительной арматуры и замоноличивания (рисунок 10, 11). В результате образуется рабочее тавровое сечение, верхней полкой которого является участок примыкания плиты, а ребро – сборный ригель.



Рисунок 10 – Возведение каркаса «Рекон»

Перекрытия состоят из сборных железобетонных плит толщиной 60 мм, служащих несъемной опалубкой для устройства несущей монолитной плиты толщиной 100-190 мм, в теле которой устанавливается дополнительная арматура, обеспечивающая неразрезность диска перекрытия. Верхняя поверхность плиты-основания выполняется шероховатой - для увеличения сцепления монолитного слоя с плитой-основанием.



Рисунок 11 – Стык колонны и ригеля в системе «Рекон»

### «КУБ»

КУБ – система безригельного каркаса. После установки плит в проектное положение в просвет петель вставляется арматура АIII диаметром 10мм либо в виде прямых стержней, либо в форме П-образных шпилек и перевязывается (рисунок 12). После установки арматуры стыки панелей перекрытия бетонируются мелкозернистым бетоном В25 с фракцией не более 10 мм, одновременно бетонируются и узлы «колонна-плита» с предварительной установкой снизу инвентарной опалубки.

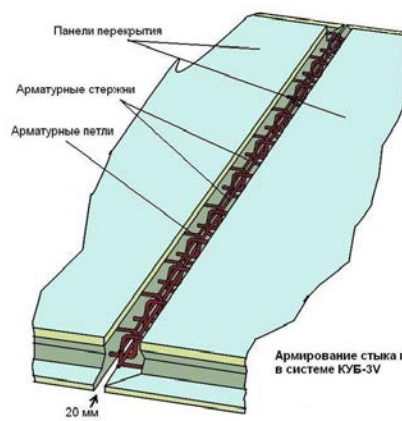


Рисунок 12 – Стык плит в системе «КУБ-3V»

### АРКОС («Белорусская серия»)

Основные конструктивные элементы каркаса - монолитные или сборные колонны (могут быть одно-, двух- и трехъярусными), ригели монолитные (рисунок 13, 14).

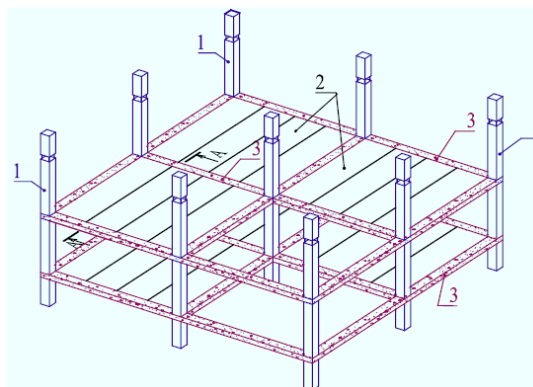


Рисунок 13 – Схема каркаса АРКОС: 1- сборные колонны, 2 – сборные плиты, 3 – монолитные ригели



Рисунок 14 – Возведение каркаса «АРКОС»

Ригели в системе «АРКОС» выполняются монолитными. Опираие многопустотных плит перекрытия происходит за счет эффекта «распора», возникающего при включении в работу бетонных шпонок в теле многопустотной плиты – данное решение обуславливает образование жесткого диска перекрытия (рисунок 15, 16).



Рисунок 15 – Узел ригель-плита в системе АРКОС



Рисунок 16 – Устройство перекрытия в системе АРКОС

### 1.2.3 Стыки сборных железобетонных конструкций

Замоноличивают стыки только после приемки сварных соединений и выполнения антикоррозионной защиты металлических деталей. Бетонные поверхности стыкуемых частей элементов должны быть шероховатыми.

Стыки перед укладкой в них бетона очищают, продувают струей сжатого воздуха или промывают водой. Для плотного заполнения стыков, с целью исключения образования пустот, к смеси предъявляются определенные требования: размер частиц крупного заполнителя - не более  $1/3$  наименьшего сечения полости и  $3/4$  наименьшего расстояния в свету между арматурными стержнями; размер частиц песка для стыков стеновых панелей – не более 5 мм; подвижность бетонной смеси - 6...8 см; подвижность раствора - не более 8 см; подвижность раствора для заполнения горизонтальных швов стеновых панелей - 5...7 см, а для вертикальных стыков между панелями - 10...12 см [9, 10].

Подача бетонной смеси или раствора в стык возможна как вручную, так и механизированным способом - под давлением. Производят данную работу механизированным способом с помощью плунжерных или винтовых растворонасосов, пневмонагнетателей, комплексных пневматических установок, работающих по принципу торкретирования, цемент-пушек и другого оборудования.

Смесь, поданную в стык свободно, как правило, уплотняют глубинными вибраторами (обычно с вибронаконечниками небольшого диаметра - 28, 38 мм).

Если по таким причинам, как: частое расположение арматуры, небольшие размеры полости стыка и другие, не удастся применять вибраторы, смесь в стыках уплотняют штыкованием.

Технологические приемы замоноличивания соединений диктуются их конструктивными решениями. Рассмотрим технологию выполнения наиболее распространенных стыков [11].

1. *Стыки колонн с фундаментами стаканного типа* замоноличивают после установки, выверки и временного крепления ряда колонн. Применяют бетонную

смесь с крупным заполнителем фракции 5...20 мм. Смесь уплотняют глубинным вибратором с наконечником диаметром 38 мм, либо используют обычные глубинные вибраторы с надеваемыми на них наконечниками или металлическими полосами (рисунок 17).

Состав работ определен в технологических картах и в [12]:

- Очистка и промывка стакана фундамента.
- Укладка и уплотнение бетонной смеси.
- Вытаскивание клиньев (после достижения бетоном стыка 50% прочности).
- Замоноличивание гнезд от клиньев бетонной смесью.
- Заглаживание открытой поверхности.

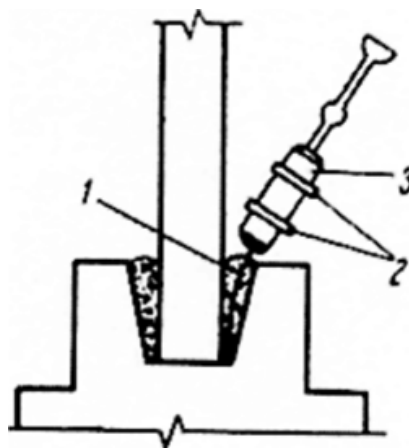


Рисунок 17 – Замоноличивание стыка колонны с фундаментом стаканного типа: 1 - металлическая полоса; 2 - хомуты; 3 - вибробулава

2. *Стыки колонны с колонной* замоноличивают одним из способов: с подпором бетонной смеси, прессованием, инъецированием.

2.1 Замоноличивание стыков бетонной смесью с подпором производят в инвентарной опалубке, состоящей из двух Г-образных частей, соединяемых болтами (рисунок 18).

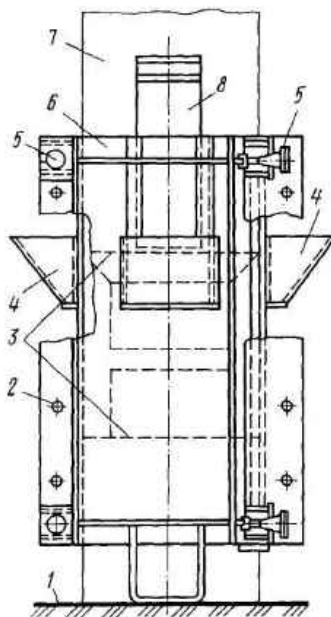


Рисунок 18 – Замоноличивание стыков колонна-колонна с подпором:

1- перекрытие; 2 - отверстие для крепления обогревателей; 3 - границы стыка; 4 - карманы для подачи бетонной смеси; 5 - место крепления щитов; 6 - щиты опалубки; 7 - колонна; 8 - стальная пластина для срезки наплывов

Подача бетонной смеси и ее уплотнение происходит через карманы в опалубке. После укладки бетонной смеси наросты бетона в карманах срезают, забивая стальные пластины заподлицо с гранями конструкции.

2.2 Способ замоноличивания прессованием. Используется специальная пресс-опалубка (рисунок 19), состоящей из двух частей. После установки опалубку и закрепления обеих частей болтами, отводят до отказа пуансоны опалубки от стыка, камеры заполняют бетонной смесью и закрывают крышками. При вращении рукоятки бетонная смесь вдавливается в стык, для уплотнения используется вибробулава, которую приставляют к каждому пуансону. Доведя пуансоны до упора и открыв крышку камеры, приставляют поочередно к каждому пуансону вибробулаву до тех пор, пока бетонная смесь не появится в зазорах между колонной и опалубкой. После чего снимают пресс-опалубку и кельмой зачищают поверхности замоноличенного стыка от наплывшего бетона [11].

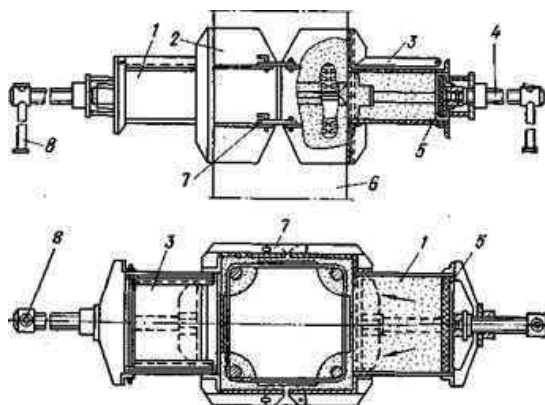


Рисунок 19 – Замоноличивание стыка колонна-колонна прессованием:

1— камера нагнетания; 2 — опалубка; 3 — крышки; 4- шток; 5—пуансон; 6— стыкуемые колонны; 7~ запоры; 8 — рукоятка

2.3 Способ инъектирования выполняется с помощью пневматических и механических нагнетателей и специальной опалубки, состоящей из двух Г-образных частей, соединенных и затянутых болтами или клиньями (рисунок 20). Опалубку устанавливают с герметизирующими прокладками из эластичной резины. Полость стыка заполняют раствором при давлении до 30 Па. К штуцерам задвижек в опалубке подсоединяют инъекционные головки и открывают контрольные краны. Раствор подают в полости опалубки с небольшой скоростью для минимизации риска возникновения воздушных пробок. Подают раствор до его появления из отверстий контрольных кранов [11].

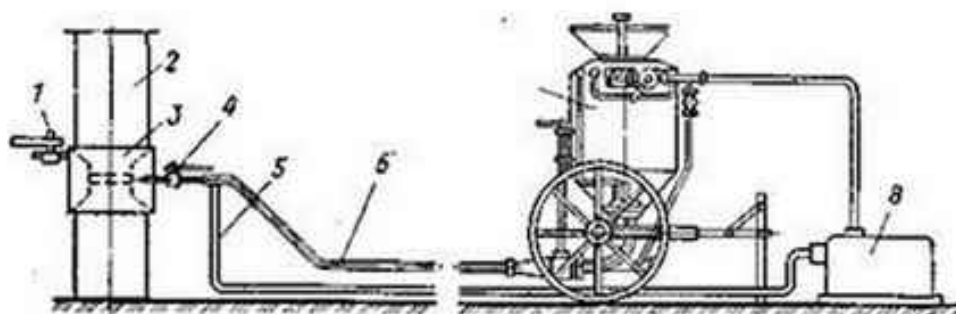


Рисунок 20 – Замоноличивание стыка колонн инъектированием:

1 — контрольный кран; 2 — колонна; 3 — опалубка; 4 — наконечник с краном; 5 — воздухопровод; в — трубопровод; 7 — нагнетатель; 8 — компрессор

3. Замоноличивание *стыков ригелей с колоннами* осуществляют с применением инвентарной опалубки (рисунок 21). Укладку бетонной смеси производят безнапорно с уплотнением вибратором с гибким валом.

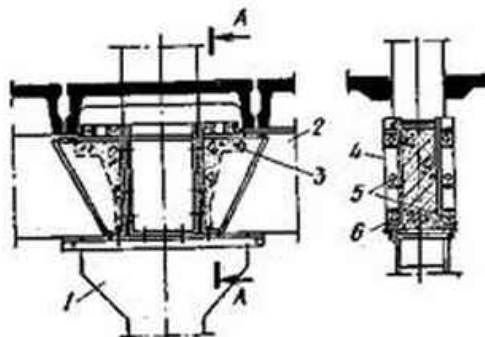


Рисунок 21 – Замоноличивание стыка ригеля с колонной:

1 - колонна; 2 - ригель; 3 - бетон заделки; 4 - щиты опалубки; 5 - отверстия для крепления отражателей с источниками инфракрасных лучей; 6 - болты

4. Для замоноличивания *вертикальных стыков стеновых панелей* используют инвентарную опалубку (рисунок 22), а в месте примыкания панелей внутренних стен — нащельники. Смесь подают с вышележащего перекрытия, как правило, растворомасосом. До подачи смеси наконечник вибратора с гибким валом опускают на дно стыковой полости и по мере подачи смеси поднимают, уплотняя ее.

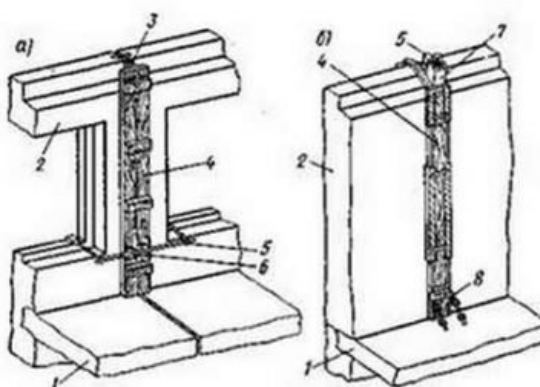


Рисунок 22 – Замоноличивание вертикальных стыков стеновых панелей:

а - панель с оконными проемами; б - то же, сплошных; 1 - перекрытие; 2 - стеновая панель; 3 - верхняя скоба; 4 - щит опалубки; 5 - хомут с захватами; 6 - клин; 7 - лоток для бетона; 8 - упор

Уход за бетоном замоноличенных стыки в период твердения включает следующие мероприятия: предохранение от ударов, воздействия прямых солнечных лучей; создание тепло-влажностного режима – укрытие поверхностей стыков полимерными пленками, мешковиной, опилками и систематическое их увлажнение в течении 3 суток. Мероприятия по уходу за бетоном разрабатывается в проектах производства работ [2] и, как правило, заключаются в поливке бетона стыков с определенной периодичностью в дневное и ночное время; при этом поливку не производят в условиях зимнего периода. Передача монтажных нагрузок на стыки допускается после достижения бетоном/раствором прочности не менее 70% проектной [3]. Распалубливание стыков в летних условиях производят после достижения бетоном/раствором прочности, указанной в проекте, а при отсутствии таких указаний - не менее 50% от  $R_{28}$  [3].

### **1.3 Выявление недостатков и основных дефектов устройства технологических швов и стыков, анализ их влияния на работу конструкций**

Работы ряда авторов указывают на значительное снижение жесткости и несущей способности конструкции из-за наличия шва бетонирования, даже при отсутствии дефектов его устройства [13-19]. Кроме этого, некачественно выполненный рабочий шов бетонирования вызывает коррозию арматуры, фильтрацию вод, снижение прочности конструкции и в конечном итоге может приводить к строительным авариям. Рассмотрим основные недостатки и дефекты устройства технологических швов.

В работе [18] утверждается, что «разрушением бетонных и железобетонных конструкций является нарушение прочности контакта (рабочего стыка) затвердевшего (старого) бетона со свежеложенным (новым), снижающее их прочностные характеристики, доходя до 30-40%, и эксплуатационные качества в целом». Также автором подчеркивается: «у практического работника решение вопроса рабочего стыка часто вызывает значительные затруднения и этот вопрос совершенно недостаточно исследован и освещен в соответствующей литературе».

Под руководством Коянкина А.А. был проведен эксперимент [19], направленный на изучение влияния шва бетонирования на работу пролетных конструкций. Образцами были железобетонные балки прямоугольного сечения, выполненные из тяжелого бетона класса В25, армированные плоскими сварными каркасами. При этом, рассматривалось несколько типов образцов: тип 1 - цельные (номинальные); тип 2 – с рабочим швом бетонирования, выполненным с использованием металлотканой сетки; тип 3 – с рабочим швом бетонирования, согласно действующим нормативным документам [2]; тип 4 – с рабочим швом бетонирования, с нарушением строительных норм и в качестве заслонки между частями балок использовался деревянный брус, при этом шов не прочищался, как того требуют нормы. В результате проведенных испытаний было определено, что наличие шва бетонирования существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции. Прогибы балок, выполненных с рабочим швом оказались значительно выше, чем прогибы цельных балок: у образцов с рабочими швами, образованными строительной сеткой - в 3 раза больше; у образцов, швы которых выполнены без какой-либо обработки - в 1,8; у образцов с рабочими швами, выполненными согласно действующим нормативным документам [2] - в 1,4 раза. Также в данной работе было выявлено, что наибольшей несущей способностью обладают образцы, выполненные цельными, снижение несущей способности для образцов других типов составило: с рабочими швами согласно СП 70.13330.2012 – на 30%; с необработанным швом – на 50%; с металлотканной сеткой – на 65% по сравнению с номинальными.

Согласно работам С.И. Иванова<sup>1</sup>, посвященным влиянию рабочего шва бетонирования удовлетворительного качества на работу конструкций, наличие рабочего шва бетонирования «приводит к снижению разрушающей нагрузки на 15-20% по сравнению с расчетной. Для конструкций с обычным армированием

---

<sup>1</sup> Иванов, С.И. Рабочие швы бетонирования: презентация г. Москва, ОАО «НИЦ «Строительство» НИИЖБ им. А.А. Гвоздева. Лаборатория железобетонных конструкций и контроля качества // Воркшоп «ШВЫ БЕТОНИРОВАНИЯ: Учет. Контроль. Ремонт» Ассоциации «Железобетон»: официальный сайт. 18 слайдов. Февраль 2019.

снижение прочности рекомендуется учитывать коэффициентом 0,85». Также С.И. Иванов приводит следующую последовательность образования трещин в конструкциях с рабочим швом бетонирования (РШБ). Низкая прочность сцепления в зоне технологического шва бетонирования приводит к раннему образованию трещин в этом сечении, большому раскрытию шва и общим деформациям конструкции. После образования трещины вдоль РШБ, силы трения вдоль площадки сжатия и нормальные силы (срез арматуры и оставшейся сжатой зоны) приводят к образованию косой трещины, направленной из шва в сторону опоры, по которой и происходит разрушение балки. Помимо этого, в своей работе С.И. Иванов приводит перечень «дефектов бетонирования и ухода, снижающие качество рабочего шва бетонирования:

1. Раковины вследствие наличия строительного мусора, воды, снега и льда вдоль первой захватки бетонирования;
2. Раковины вследствие плохого вибрирования (или зависания бетона на арматуре), вытекания цементного молока;
3. Нарушение контакта вследствие температурно-влажностных напряжений;
4. Незапланированный перерыв в бетонировании конструкции, в результате которого происходит образование наклонных поверхностей в плитах, наклонных швов в стенах, балках и пилонах.»

Можно отметить, что последний из представленных дефектов – распространенное явление в практике устройства монолитных железобетонных конструкций.

При устройстве таких конструкций зачастую возникает ряд технологических и организационных проблем, препятствующих безостановочному производству работ по укладке бетонной смеси в объем конструкции без запланированных проектом рабочих швов бетонирования: перебои в электричестве на строительной площадке, выход строительных механизмов и оборудования из строя, задержка автобетоносмесителя. В следствие чего возникает вынужденный шов, вызванный

стеканием бетонной смеси в конструкции, то есть образуется наклонная контактная поверхность «старого» бетона. На рисунках 23, 24 приведен пример такого шва, образованного при замоноличивании фундаментной плиты в результате выхода из строя стационарной бетононасосной установки.



Рисунок 23 – Наклонный шов бетонирования в железобетонной фундаментной плите, г. Челябинск



Рисунок 24 – Наклонный шов бетонирования в железобетонной фундаментной плите, г. Челябинск

Как правило, решение возникшей проблемы происходит несколькими путями: установка вертикальной отсечки с верхней точки растекания бетонного

слоя и извлечение бетонной смеси, находящейся за данной отсечкой – в случае, когда не наступили сроки схватывания бетонной смеси уложенного слоя; частичный или полный демонтаж конструкции; введение дополнительных арматурных деталей в данной части для усиления сечения. Все описанные пути решения влекут за собой дополнительные трудовые, материальные и временные затраты.

Так же в работе [5], основываясь на анализе технологических карт на бетонирование железобетонных плит [20, 21], отмечено, что «существующие нормативные документы, по которым составляются технологические карты на бетонирование, не учитывают важный фактор – время на устройство рабочих швов, возникающих при перерывах в бетонировании».

#### **1.4 Цель и задачи исследования. Основные выводы по главе.**

Как было указано выше, наличие бетонного шва существенно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов его устройства [13 - 17]. Монолитность конструкции предполагает её единые свойства на всех участках. По факту же в зоне технологических швов наблюдается снижение плотности и, как следствие, прочности монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций.

В технологии устройства сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций при замоноличивании стыков сцепление свежееуложенного бетона с стыкуемыми поверхностями наряду с прочностью является основным фактором, определяющим качество замоноличивания стыка - его монолитность, обеспечивающую совместную работу всех элементов соединения.

В результате обзора литературных источников была сформулирована цель исследования, заключающаяся в совершенствовании технологии формирования стыков и швов при устройстве монолитных, сборно-монолитных и сборных железобетонных конструкций.

Для достижения поставленной цели необходимо рассмотреть следующие основные задачи:

- Выявить технологические факторы, влияющие на прочность зоны контакта бетонов;
- Экспериментально определить закономерности влияния технологических факторов бетонирования на прочность зоны контакта бетонов после 28 суток твердения в нормальных условиях;
- Разработать способы выполнения качественного соединения вновь укладываемой бетонной смеси с ранее уложенной при устройстве монолитных и сборных конструкций;
- 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;
- Разработать технологический регламент по устройству монолитных конструкций с рабочими швами бетонирования, не снижающими несущей способности конструкции и ее жесткостных показателей;
- Осуществить опытно-промышленное внедрение предложенной технологии, а также произвести технико-экономическую оценку предложенных способов повышения прочности контакта бетона в монолитном строительстве.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ

### 2.1 Сцепление бетона в контактной зоне. Теоретические исследования факторов, влияющих на прочность контакта бетонов и способов ее повышения.

Хорошее качество связи между вновь укладываемой бетонной смесью и бетонным основанием является важным требованием для обеспечения эффективности их соединения [22]. Рассмотрим основные технологические факторы, оказывающие влияние.

В работе Я. Хе [23] и на рисунке 25 представлена модель сцепления «старого» бетона основания и «нового» укладываемого бетона. Эта модель указывает на то, что переходная зона между «старым» и «новым» бетоном является ключевой областью контакта.

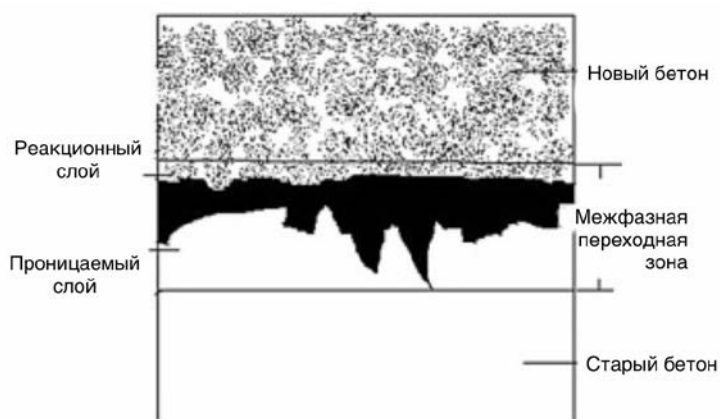


Рисунок 25 – Модель сцепления «старого» бетона основания и «нового» укладываемого бетона

Согласно Зильфвербранду, прочность и долговечность связи вновь укладываемого бетона и бетона-основания зависит от нескольких факторов, каждый из которых действует с разной степенью влияния, и их можно разделить на три основные группы [24, 25].

Характеристики основания («старого» бетона) – контактной поверхности:

а) свойства подложки;

- б) микротрещины;
- в) цементное молоко;
- г) шероховатость;
- д) чистота поверхности.

Характеристики и технология укладки:

- а) предварительное увлажнение;
- б) свойства наложения;
- б) связующие вещества;
- г) способ укладки;
- д) уплотнение;
- е) условия выдерживания.

Условие окружающей среды:

- а) время;
- б) раннее нагружение;
- в) усталость;
- г) окружающая обстановка.

Из этих факторов, Зильфвербранд [24, 25] выделил пять основных факторов: микротрещины, отсутствие слоя цементного молока, чистоту перед нанесением покрытия, процедуры уплотнения и отверждения.

Первые три параметра напрямую связаны с характеристиками основания («старого» бетона), которые могут быть изменены обработкой поверхности.

Наличие микротрещин является одним из важнейших факторов при соединении «старого» и вновь укладываемого бетона. Ведь их наличие приведет к менее надежному соединению бетонов, а также образованию дополнительных концентраторов напряжения в области соединения, что отрицательно влияет на прочность соединения в зоне технологического шва. Под нагрузкой эти многочисленные микротрещины в зазоре между новым и старым бетоном развиваются от устойчивых трещин до нестабильных трещин с концентрацией

напряжений в этой области, что приводит к расширению трещин и разрушению всей конструкции.

Цементное молоко на бетонной поверхности является слабым слоем и значительно снижает сцепление «нового» и «старого» бетона, поэтому в ряде работ [26-31] рекомендуют его удаление.

Чистота покрытия перед нанесением также имеет важную роль. Поверхность контактной зоны должна быть очищена и обеспылена, так как наличие пыли значительно снижает сцепление старого и нового бетона [26-31].

Для очистки, удаления слоя цементного молока и придания шероховатости поверхности бетонного основания обычно используется механическая обработка. Однако это может вызвать микротрещины, которые не работают должным образом с точки зрения качества и прочности бетона [32].

Более того, на структуру свежего бетона влияет его близость к опалубке [33, 34]. Уровень влажности бетонного основания также может быть значительным фактором, влияющим на сцепление нового и старого бетонов. Слишком сухая или слишком влажная бетонная поверхность создает слабое сцепление нового и старого бетона [30, 32].

Так же стоит отметить, что различные авторы не склоняются к выбору какого-то одного способа механической зачистки бетона, который бы выгодно отличался: пескоструйная, гидроструйная обработка или шлифование [28, 29, 35]. Так, для бетонного основания с низкой механической прочностью рекомендуется менее агрессивная обработка, поскольку она не создает трещин в приповерхностном слое. Однако для бетона с высокой механической прочностью рекомендуется более агрессивная обработка, поскольку она значительно увеличивает профиль поверхности и улучшает механическое сцепление нового и старого бетонов [28]. Данные рекомендации можно увидеть и в нормативной литературе [3].

Замечено, что увеличение шероховатости поверхности раздела также вызывает высокую долю пустот из-за дефектов после обработки контактной

поверхности, что является актуальной проблемой при проведении работ. Следовательно, нужно использовать более подвижную вновь укладываемую смесь, чтобы обеспечить лучшее проникновение смеси между пиками шероховатой поверхности [28].

Кроме этого, ряд исследователей [36] предлагает использование матриц различных форм для увеличения площади контактной поверхности бетонов разных возрастов и увеличения прочности их сцепления. В работе [36] отмечается, что прочность сцепления нового слоя с ранее уложенным зависит от текстуры матрицы.

Стоит отметить, что мнения разных авторов разделились по поводу предварительного покрытия контактной поверхности бетона специальными связующими составами. Некоторые утверждают, что связующее покрытие создает дополнительный слой, и это может снизить эффективное сцепление между новым и старым бетоном, в то время как некоторые приходят к выводу, что адекватное сцепление может быть достигнуто только путем сочетания использования связующих веществ с соответствующими процедурами для увеличения шероховатости поверхности раздела [30].

Прочность сцепления «нового» и «старого» бетона в значительной степени может быть приписана структуре свежего бетона, непосредственно контактирующего со старой поверхностью раздела бетона. В целом, предыдущие исследования в области технологии устройства соединения разновозрастных бетонов явно не представляют количественной взаимосвязи между механическими свойствами сцепления «нового» и «старого» бетона и межфазной шероховатостью бетонной основы, и, следовательно, механизма влияния различной межфазной адгезии [22].

Резюмируя все вышесказанное, прочность и долговечность связи вновь укладываемого бетона и «старого» бетона-основания зависит от нескольких факторов, каждый из которых действует с разной степенью влияния, и их можно разделить на три основные группы:

1. характеристики основания «старого» бетона;
2. характеристики «нового» бетона и технология его укладки на основание;
3. условия окружающей среды.

Так, наряду с возрастом бетона стыкуемых элементов и составом нового бетона, большое влияние на силу сцепления оказывают способы укладки и условия твердения - вибрирование, влажность и температура [37]. Рядом исследователей [38] выдвинуто предположение о том, что величина сцепления «нового» бетона со «старым» в значительной степени зависит от карбонизации поверхности зрелого бетона за счет поглощения бетоном из воздуха углекислого газа. Предложены мероприятия по подготовке поверхностей, позволяющие улучшать сцепление [39]. Опыты Ю.И.Прыщенко [40] показывают, что серьезное влияние на сцепление оказывает расход цемента.

Р.Ферет [41] отмечает возрастание величины сцепления раствора с каким-либо телом не только с увеличением вяжущего, но и с увеличением количества воды. Причем более пластичные растворы должны обладать относительно лучшим сцеплением. К аналогичным выводам пришел Н.А.Попов [42]. Его исследования показали, что величина сцепления раствора зависит от величины водоцементного отношения. При этом максимальные значения прочности раствора на сжатие и сцепление не совпадают и имеют место при различных значениях водоцементного фактора.

Как известно, нормальная температура среды для твердения бетона 20 °С [37]. С повышением температуры твердение интенсифицируется. Увеличивается и прочность сцепления. Это подтверждают опыты, проведенные В.Б.Дыбикдоржиевым [43], Т.С.Шубиной [44] и другими авторами [45 - 50].

Работами В.Ф.Утенковым и М.А.Власовой [51] показано, что сцепление зависит от интенсивности химических реакций при твердении нового бетона, что возможно при повышении температуры.

Исследования В.Ф.Утенкова и М.А.Власовой [51] показали, что наличие температурного градиента в стыке может положительно повлиять на сцепление в случае, если бетон замоноличивания имеет большую температуру, чем стыкуемые конструкции. Ими сделано предположение, что основной причиной здесь является миграция влаги вглубь стыкуемых элементов и повышение водоцементного отношения бетона в контактной зоне. В.Н.Сизов, изучая в зимних условиях каменную кладку, также заостряет внимание на этом факте. "При отсасывании из раствора влаги вместе с ней в поры кирпича или камня увлекаются мельчайшие частицы цемента, повышая тем самым сцепление с раствором [52].

Сделанные предположения подтверждают исследования Н.Ф.Беловой, В.Я.Гендина и В.Э.Лейриха [53], исследовавших влагоперенос в стыках, в процессе электропрогрева. Их данные кондуктометрических исследований показали, что после замоноличивания происходит миграция влаги к холодным поверхностям, интенсивность которой определяется наряду с другими условиями температурным фактором.

Действительно, исследования явлений тепломассообмена в капиллярно-пористых телах, проведенные А.В.Лыковым [54] и другими учеными [55, 56, 57] показали, что во влажном капиллярно-пористом теле вместе с переносом энергии в виде теплоты происходит массоперенос. При этом плотность потока массы пропорциональна градиенту соответствующего потенциала переноса. То есть, применительно к рассматриваемому случаю, наблюдается термодиффузия - появление диффузионных потоков массы под влиянием градиента, температуры. Т.Хоблер [58] и Г.А.Перри [59] в своих работах обращают внимание на то, что коэффициент диффузии жидких растворов заметно зависит от температуры. Причем для пары веществ (растворенное вещество - растворитель) на него главным образом оказывают влияние свойства растворителя [56]. Так же, отмечается, что наличие растворимых веществ в жидкости изменяет процесс массопереноса (в отличие от классического) и вызывает ряд дополнительных эффектов [54]. Проведенные исследования диффузии растворов в цементном камне и бетоне [60] подтверждают

это. В работах [48, 49], опираясь на классический закон термодинамики, с целью повышения адгезии «нового» и «старого» бетона, предложено использование подогретой бетонной смеси к более холодному бетонному основанию («старый» бетон). Молодиным В.В. в продолжение всех представленных литературных источников было предложено замоноличивание стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях с термообработкой смеси в процессе укладки [61].

В исследованиях, проводимых на кафедре СПиТС ЮУрГУ с 2005 года рассматривалось влияние на прочность бетонного шва условий окружающей среды [62, 63]. Экспериментальным путем была выявлена зависимость величины сцепления ранее уложенного бетона с вновь укладываемым бетоном от температуры бетонного основания [62].

Таким образом, анализ работ по сцеплению бетона в стыках и факторов его обуславливающих показывают следующее. Наличие перепадов температур на контакте вызывает термодиффузию влаги в зону низких температур. Кроме этого, диффузия влаги может быть вызвана и другими факторами.

Диффузионный поток влаги из "нового" бетона в "старый" увлекает за собой частицы цемента, растворенные в воде, которые проникают вглубь стыкуемых элементов. Вместе с продолжительным периодом сохранения положительных температур в бетоне заделки и в контактной зоне все это может привести к качественному сцеплению.

В работе [63] выделяется три категории факторов, влияющих на прочность сцепления в бетонных швах:

1. «Вид и состав материалов: крупность заполнителя; водоцементное отношение; консистенция смеси; введение различных добавок, повышающих сцепление; тип и количество вяжущего» [37, 50, 64, 65].

2. «Технологические: климатические условия укладки бетонной смеси – температура и влажность; величина градиента тепломассопереноса; а также качество, форма и технология подготовки поверхности швов; технология

вибрирования бетонной смеси; продолжительность перерывов в бетонировании» [36, 50, 62, 65 – 70].

3. «Конструктивные: величина обжатия бетона в стыке, вид и направление силового воздействия в стыке (шве), усадка бетона, его модуль упругости и возраст, величина модуля поверхности стыков (особенно при отрицательных температурах)» [23, 37, 62, 64, 68, 71].

Авторами [72] были проведены исследования по изучению влияния намагничивания воды, используемой для затворения бетонной смеси на его характеристики. Было выяснено, что при намагничивании воды, молекулярный угол между водородными связями уменьшается на  $1,5^\circ$ , что в конечном итоге приводит к уменьшению степени консолидации и расширению молекулярных размеров [73, 74]. Таким образом, магнитная вода имеет меньшую вязкость по сравнению с классическим вариантом. Что, в свою очередь может приводить к увеличению проникающей способности «нового» бетона, затворенного намагниченной водой. Учёными [75] было предложено использование магнитной обработки бетонных смесей для увеличения прочностных характеристик конструкций.

Горбуновым Н.И. [76] было исследовано влияние электролизной воды затворения на процессы гидратации минеральных вяжущих веществ и показано, что затворение вяжущих электролизной водой приводит к повышению прочности структур для бетонов на 10 – 20% по сравнению со структурами, полученными на водопроводной воде.

В работах Юдиной А.Ф. [77-79], посвященных исследованию влияния активированной воды затворения на технологические свойства строительной цементной смеси, так же отмечается эффект повышения прочности на сжатие бетонных образцов при затворении водой, обработанной электрическим полем.

Таким образом, можно выделить еще один фактор, влияющий на формирование структуры контакта «нового» и «старого» бетонов – электромагнитная обработка.

## 2.2 Экспериментальные исследования проникающей способности различных сред в бетон в зависимости от технологических факторов, влияющих на его влагопоглощение

Согласно требованиям по укладке бетонной смеси в различные конструкции при организации рабочего шва [2], сам рабочий шов может располагаться параллельно и перпендикулярно слоям укладки бетонной смеси (рисунок 26).

Автором диссертационного исследования было выдвинуто предположение, что сила сцепления «старого» и «нового» бетона будет зависеть от ориентации слоев укладки затвердевшего бетона по отношению к укладываемому «новому» бетону. Сила сцепления, в свою очередь, зависит от проникающей способности «нового» бетона в структуру «старого» бетона и влияет на прочность рабочего шва. Здесь и ниже в данной главе приведены методология и результаты экспериментального исследования, которые были опубликованы ранее [80], как промежуточный этап диссертационного исследования.

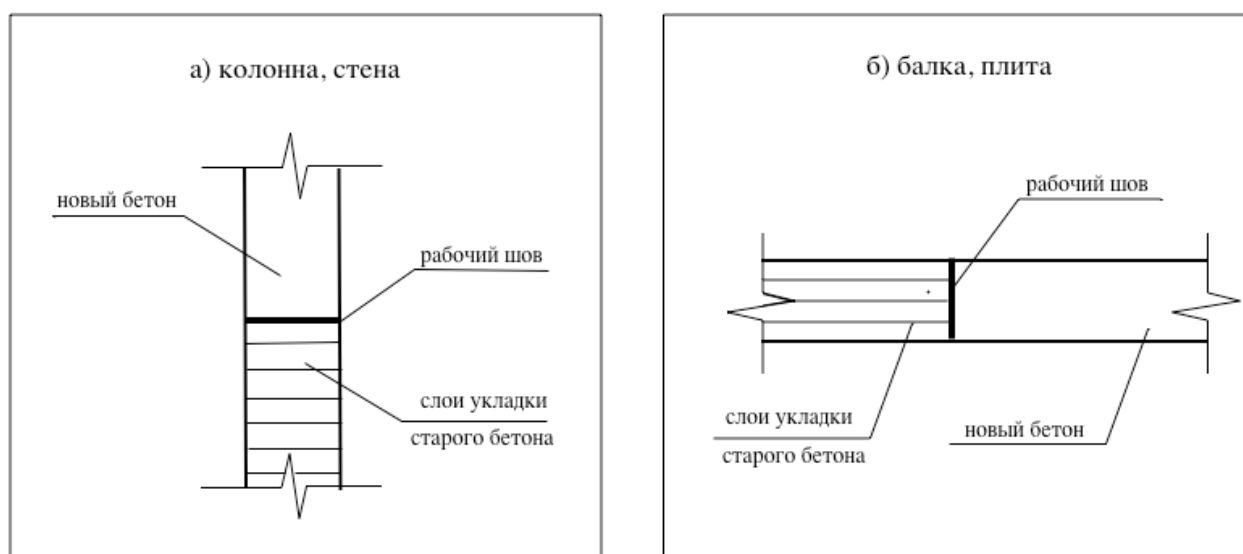


Рисунок 26 – Расположение поверхности рабочего шва по отношению к слоям укладки бетона при возведении различных монолитных железобетонных конструкций

Помимо этого, на качество совместной работы «старого» и вновь укладываемого бетона будет оказывать влияние химическая среда зоны контакта, которая может изменяться и поддерживаться различными химическими добавками.

В связи с этим в первой части проводимых экспериментов исследовалось влагопоглощение затвердевшего бетона в зависимости от следующих 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.

Наиболее распространенный на практике метод ускорения массопереноса в материалах за счет повышения температуры материала и жидкости органичен. Поэтому для пропитки пористо-капиллярных материалов и изделий используют вакуум и избыточное давление. Скорость массопереноса в таких телах в значительной мере зависит от структуры жидкостей, помимо этого выделяют фактор, влияющий на данный процесс – увеличение толщины пристеночного слоя жидкости, вызывающее уменьшение эффективного сечения капилляра. Расход текущей жидкости по капилляру зависит от его параметров, вязкости жидкости и перепада давления. Экспериментально было обнаружено уменьшение скорости течения жидкости по капиллярам до полной остановки, что получило название облитерации капилляра [81]. Облитерация жидкости зависит от ее вязкости, температуры, свойств материала и длины капилляров.

Работы [82, 83], посвященные исследованиям влияния ультразвука, акустического и электромагнитного полей на скорость сушки и пропитки модифицированных бетонов показали, что эффективность массопереноса в материалах зависит не столько от свойств бетона, температуры пропиточного состава, сколько от частоты силовых характеристик – напряженности поля. Это наблюдение объясняется тем, что применяемые поля разрушают структуру жидкости, вследствие чего уменьшается ее вязкость и ускоряется массоперенос.

Исходя из этих данных, выдвинута гипотеза о том, что «при организации технологического шва бетонирования акустическое воздействие также повлияет на структуру бетона вновь доливаемых составов и приведет к ускорению

массопереноса, что качественно повлияет на сцепление «нового» и «старого» бетона» [80].

Также стоит заметить, что высокочастотные звуковые колебания могут вызвать изменения не только во вновь доливаемом составе и его реологических свойств, играющих роль в проникновении в структуру “старого” бетона, но и воздействовать непосредственно на “старый” бетон, приводя его в условия повышенных адгезионных способностей.

В силу вышеизложенного, вторая часть экспериментов посвящена исследованию влияния акустической обработки бетона на первом этапе взаимодействия жидкой среды с бетонными образцами (в течение первых трех минут) на окончательное значение влагопоглощения бетона.

Проникающая способность сред в бетон в проводимых экспериментах определялась массой поглощенного бетоном раствора.

Эксперименты проводились на водных растворах, так как бетонная смесь имеет свойства тяжелой жидкости [84].

Бетонные образцы готовились цилиндрической формы длиной 20 см и диаметром 10,5 см. Для формования образцов в качестве форм использовались стандартные полиэтиленовые трубы.

Эксперимент произведен на бетоне класса В30, как наиболее распространенного для изготовления и возведения сборных и монолитных железобетонных конструкций.

Состав бетона, характеристика его компонентов и свойства представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика бетона

| Материалы                             | Цемент   | Песок  | Щебень  | Вода  |
|---------------------------------------|--|--|---|---|
| Характеристики                        | ПЦ400-Д20<br>LAFARGE   | $\rho = 2,69 \text{ г/см}^3$ ;<br>$\rho_{\text{насып.}} = 1,54 \text{ г/см}^3$ ; | Фракция 5...20<br>мм                                  | Фильтрованная   |
| Нормативный документ                  | ГОСТ 30515-2013<br>Цементы.<br>Общие<br>технические<br>условия | ГОСТ 8736-2014 Песок для<br>строительных<br>работ. Техническ<br>ие условия       | ГОСТ 26633-2012 Бетоны<br>тяжелые и<br>мелкозернистые | ГОСТ 23732-2011 Вода для<br>бетонов и<br>строительных<br>растворов.<br>Технические<br>условия |
| Расход на $1\text{м}^3$ , кг          | 500  | 540  | 1190  | 212   |
| ОК = 4 см; R <sub>28</sub> = 32,7 МПа |  |  |   |   |

### 2.2.1 Влияние химического состава проникающей среды, ориентации слоев бетона по отношению к плоскости контакта и зачистки поверхности зоны контакта от цементной пленки на влагопоглощение бетона

В исследованиях участвовали две серии бетонных образцов, которые отличались способом укладки бетона в цилиндрическую форму:

- параллельно плоскости поперечного сечения образца;
- перпендикулярно плоскости поперечного сечения образца.

В зависимости от способа укладки бетонной смеси в форму, образцы характеризовались различным расположением слоев укладки бетона по отношению к плоскости влагопоглощения: параллельно или перпендикулярно соответственно (рисунок 27).

Выдерживание образцов в течение 28 суток происходило в нормальных условиях твердения. После их распалубки была произведена гидроизоляция всей поверхности образцов, кроме нижней грани, через которую в последующем происходило влагопоглощение.

Далее образцы помещались в емкости с жидкостями. Параметры жидкостей, использованных для создания различных сред, приведены в таблице 4.

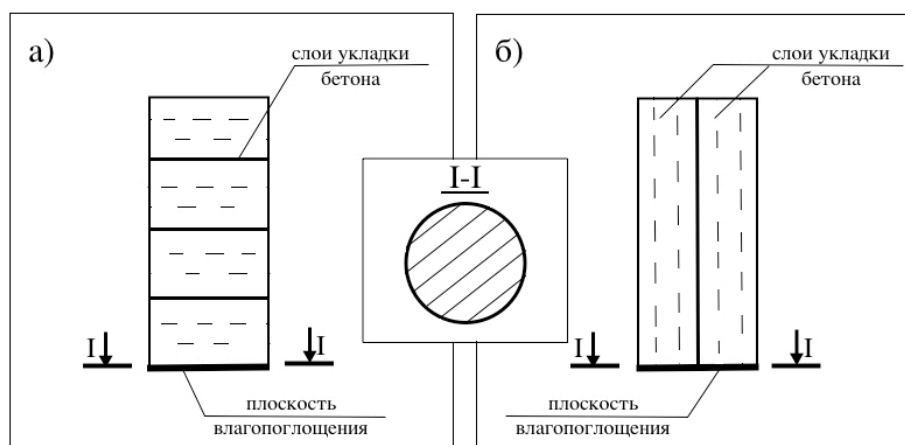


Рисунок 27 – Схема расположения слоев укладки бетона в образцах:

а – параллельный характер расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения; б - перпендикулярный характер расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения

Таблица 4 – Параметры жидкостей

| № п/п | Наименование раствора         | Химическая формула раствора | Концентрация (плотность) раствора, г /л (г/см <sup>3</sup> ) | pH   | Тип среды   |
|-------|-------------------------------|-----------------------------|--|------|-------------|
| 1     | Дистиллированная вода         | H <sub>2</sub> O            | – (0,998)  | 7,0  | нейтральная |
| 2     | Водный р-р хлорида натрия     | NaCl                        | 229,5 (1,148)  | 7,3  | нейтральная |
| 3     | Водный р-р бикарбоната натрия | NaHCO <sub>3</sub>          | 10,06 (1,008)  | 10,5 | щелочная    |
| 4     | Водный р-р бикарбоната натрия | NaHCO <sub>3</sub>          | 84,65 (1,055)  | 11,0 | щелочная    |
| 5     | Водный р-р сульфата магния    | MgSO <sub>4</sub>           | 20,36 (1,018)  | 5,5  | кислая      |
| 6     | Водный р-р сульфата магния    | MgSO <sub>4</sub>           | 160,7 (1,067)  | 5,0  | кислая      |

Растворы подбирались таким образом, чтобы они в своем химическом составе имели соединения, входящие в состав большинства бетонов [84, 85]: CaO; MgO; NaCl; SiO<sub>2</sub>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; CaCO<sub>3</sub>.

Исследование влагонасыщения бетонных образцов происходило в течение 210 часов. Данная продолжительность была обусловлена возможностью наличия во вновь укладываемом бетоне несвязной жидкой составляющей.

Общая схема эксперимента представлена на рисунке 28.

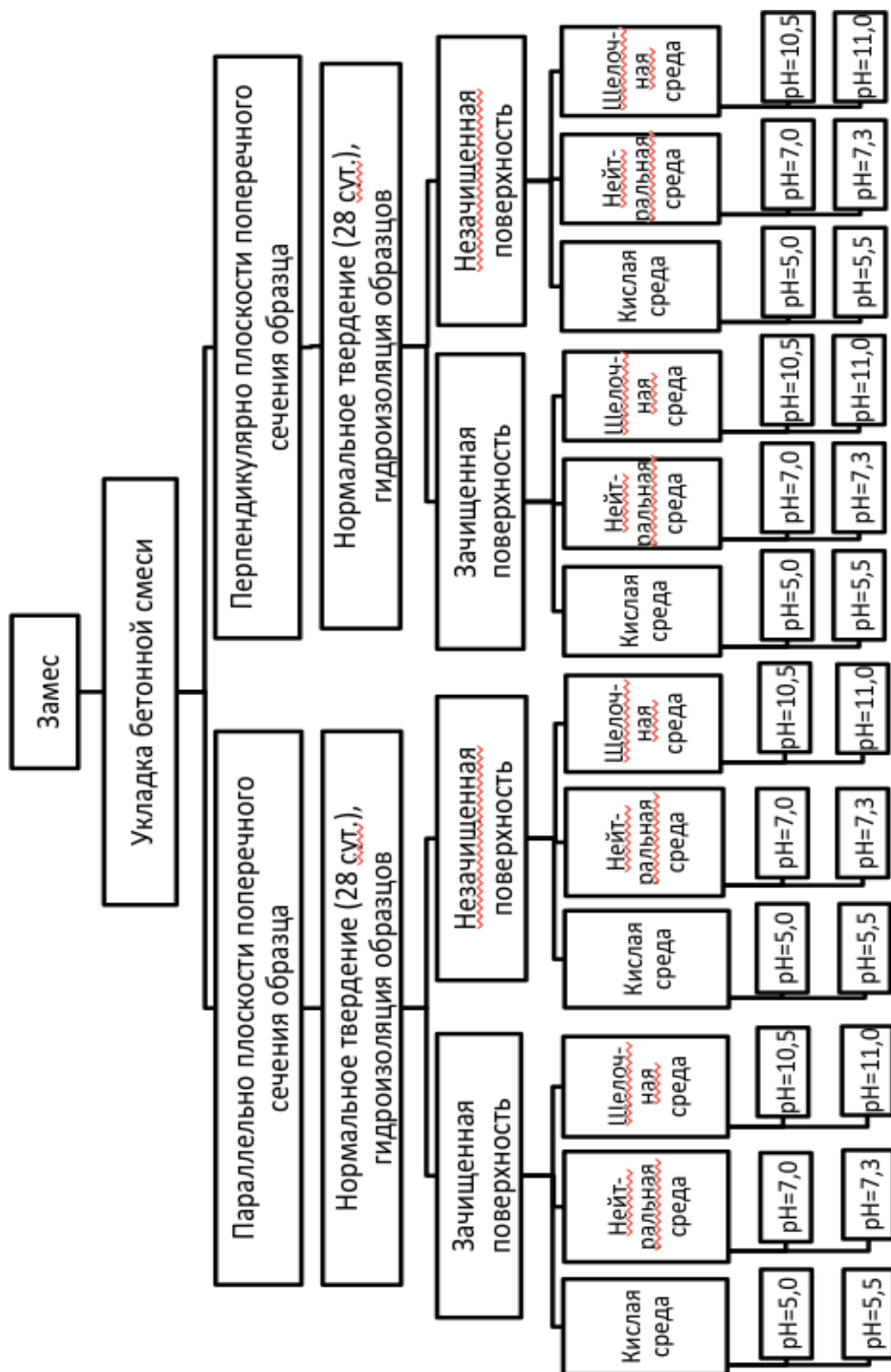


Рисунок 28 – Общая схема экспериментального этапа

В результате проведенного эксперимента получили зависимость влагопоглощения затвердевших бетонных образцов по времени от следующих технологических параметров:

- тип раствора: кислый, нейтральный и щелочной;
- рН раствора;
- расположения слоев укладки бетона по отношению к поверхности влагопоглощения;
- состояние поверхности, через которое проходит влагопоглощение – зачищена от цементной пленки или нет.

Экспериментальные данные исследования влагонасыщения бетонных образцов к моменту окончания их выдерживания представлены в приложении 1. На рисунке 29 приведены графики зависимости влагопоглощения бетонных образцов от ряда технологических факторов.

Из представленных данных видно, что на величину влагопоглощения бетона оказывают влияние все факторы, рассмотренные в данной части эксперимента.

На общую закономерность изменения полученных зависимостей первостепенное влияние оказывает характер расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения. При параллельном расположении слоев (рисунок 29 а, в) величина влагопоглощения бетона практически не зависит от типа раствора, в то время как при перпендикулярном (рисунок 29 б, г) наблюдается увеличение влагопоглощения для щелочной среды, особенно с увеличением её рН. Эта закономерность справедлива как для зачищенной (рисунок 29 б), так и для незачищенной (рисунок 29 г) поверхности влагонасыщения.

Зачистка поверхности бетона приводит к увеличению влагопоглощения при увеличении рН среды (рисунок 29 а, б) при перпендикулярном расположении слоев бетона относительно плоскости контакта.

Незачищенная поверхность уменьшает влияние рН среды на значение величины влагонасыщения и даже может приводить к ее снижению (рисунок 29 в, г). В то же время, при низких значениях рН среды величина влагонасыщения у

образцов с незащищенной поверхностью может превышать значение влагонасыщения образцов с защищенной. Это проявляется при параллельном расположении слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения (рисунок 29 а, в).

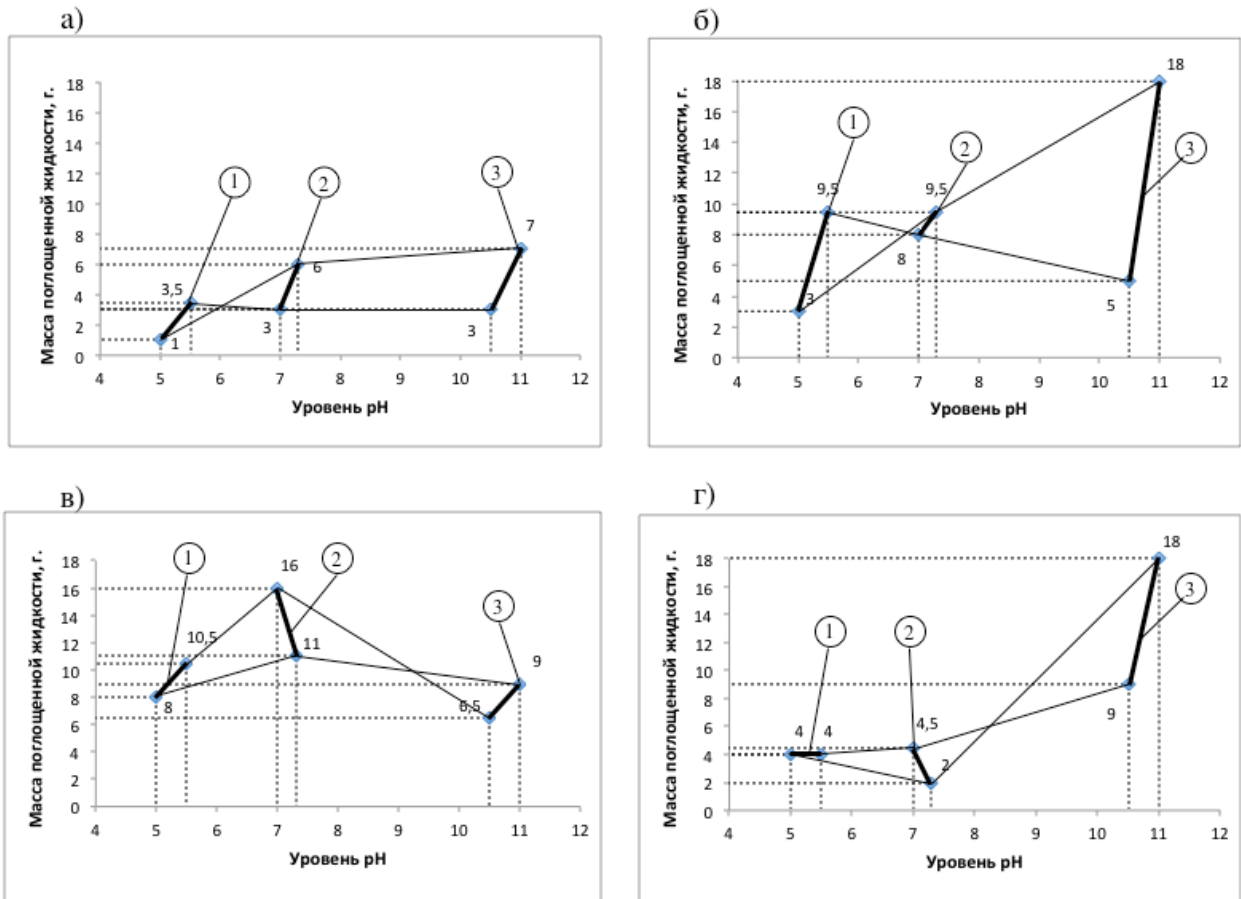


Рисунок 29 – Влагопоглощение бетона в зависимости от типа среды и pH р-ра:

1, 2, 3 – тип раствора, соответственно – кислый, нейтральный, щелочной;

а, б – защищенная поверхность влагонасыщения; в, г – незащищенная поверхность

влагонасыщения; а, в – параллельный характер расположения слоев бетона относительно

плоскости влагопоглощения; б, г – перпендикулярный характер расположения слоев бетона

относительно плоскости влагопоглощения

Более высокое влагонасыщение незащищенной поверхности бетона можно объяснить тем, что в цементной пленке присутствует большее количество микропор, в то время как в самом бетоне количество микропор уменьшается и присутствуют макропоры. При влагопоглощении раствор из области микропор попадает в область большего количества макропор, создавая при этом разреженные зоны и приrost влагонасыщения.

Профессор И.Н. Ахвердов, изучая водонасыщение каменных материалов, также отмечал наличие микро- и макропор в структуре горных пород и песков, а также положительное влияние на процент водопоглощения разреженного пространства, которое приводит к увеличению водонасыщения с 60 до 90% [85].

Однако, присутствие цементной пленки приводит к появлению прослойки с более низкой плотностью и, соответственно, прочностью, а значит не является желательной, что подтверждается [29].

Наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с более высоким уровнем рН, увеличение рН в данном случае происходит за счет увеличения концентрации щелочного компонента в растворе.

Так, при экспериментах, проводимых кафедрой ТСП ЮУрГУ (ЧГТУ), шлакощелочной бетон с концентрацией  $1,18 \text{ г/см}^3$  проявлял высокую адгезию не только к клинкерным бетонам, а даже к поверхности, которая до этого была в контакте с данными бетонами. Затруднялась выгрузка из кузова автосамосвала, который до этого перевозил бетонную смесь на клинкерном вяжущем, увеличивалась адгезия опалубки и форм при проведении эксперимента. Для решения данной проблемы был предложен способ производства работ, при котором с целью снижения адгезии осуществлялось воздействие постоянного электрического тока на смесь во время укладки и в течение определенного времени [86].

Немаловажную роль в вопросе адгезии «нового» и «старого» бетона играет кинетика проникновения вновь доливаемых составов к «старому» бетону. Как известно, образование коагуляционных структур и дальнейшая кристаллизация структуры цементного камня происходит в достаточно короткие сроки. Для организации качественного шва между «новым» и «старым» бетоном необходимо уравновесить время влагопоглощения бетона и время схватывания вновь доливаемой бетонной смеси. С этой целью необходимо изучить процесс влагопоглощения во времени. Рассмотрим кинетику влагопоглощения бетонными образцами (рисунок 30).

Область интенсивности влагопоглощения характеризуется тремя кривыми: выпуклой, линейной и вогнутой.

Наиболее часто наблюдается зависимость, выражающаяся выпуклой кривой – особенно характерна для щелочных сред с повышенным уровнем рН (и, соответственно, концентрацией) вне зависимости от других технологических факторов.

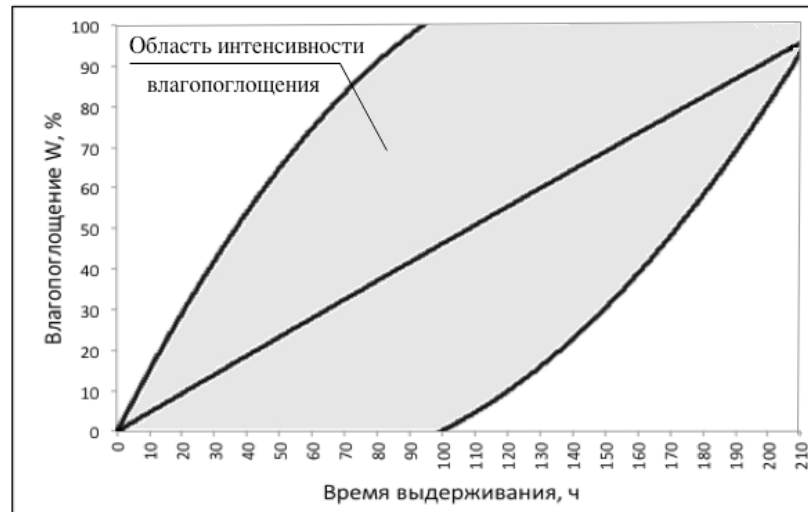


Рисунок 30 – Кинетика влагопоглощения бетонными образцами

Наблюдается взаимосвязь между плотностью раствора (независимо от типа и уровня рН среды) и преобладающим характером зависимости. У растворов с невысокой плотностью ( $\rho = 0,998$  и  $\rho = 1,008$  г/см<sup>3</sup>) наиболее характерна линейная зависимость интенсивности влагопоглощения от времени выдерживания. С повышением плотности растворов, меняется характер зависимости – с преобладающей линейной на выпуклую. Данная закономерность может объясняться различием в высоте капиллярного поднятия жидкости, которая зависит от ее плотности, что подтверждается формулой Борелли-Жюрена [87, 88]. Для более плотных растворов высота поднятия жидкости на начальном этапе выдерживания увеличивается достаточно быстро и достигает критического значения, при котором дальнейшее поднятие плотной жидкости затруднительно, что выражается выпуклым видом графика.

Зависимость, выраженная вогнутой кривой встречается достаточно редко: наблюдается у образцов с низким абсолютным значением  $W_{210}$  (1 г и 2 г) и может

быть обусловлена невысокой дискретностью и классом точности лабораторных весов.

В работе [89] отмечается, что «объем поглощенной среды зависит как от особенностей порового пространства пористо-капиллярного тела, свойств среды и ее поверхностного взаимодействия с веществом тела, так и от условий поглощения».

### **2.2.2 Влияние акустической обработки бетона на его влагопоглощение**

В данной части эксперимента также подготавливались две серии бетонных образцов, которые отличались способом укладки бетонной смеси в цилиндрическую форму:

- параллельно плоскости поперечного сечения образца;
- перпендикулярно плоскости поперечного сечения образца.

Образцы выдерживались в течение 28 суток в нормальных условиях твердения. Схема эксперимента представлена на рисунке 31.

Была произведена гидроизоляция образцов по принципу, описанному в первой части экспериментов; осуществлена зачистка поверхности контакта бетонных образцов с жидкими средами металлической щеткой.

Далее часть образцов (контрольные) помещалась непосредственно в емкости с жидкостями (таблица 3).

Другая часть образцов была подготовлена для дальнейшего эксперимента в условиях акустического воздействия по следующей схеме:

- первый этап – взаимодействие проникающего состава (жидкой среды) с бетонными образцами в течение первых трех минут в условиях акустической обработки;
- второй этап – выдерживание бетонных образцов в проникающем составе в нормальных условиях.

Исследование влагонасыщения бетонных образцов происходило так же в течение 210 часов.

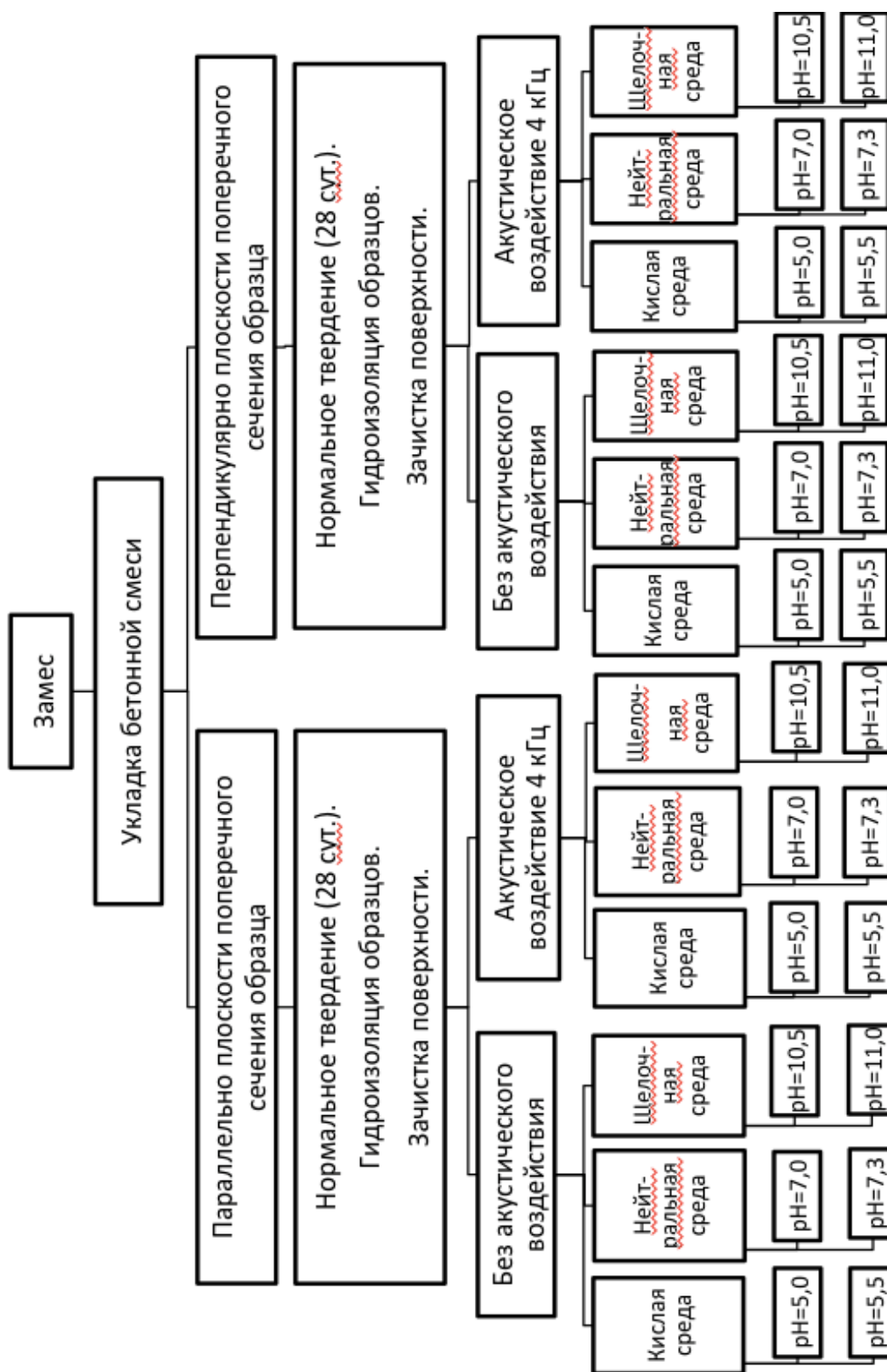


Рисунок 31 – Схема проведения экспериментального этапа

С целью подбора параметров проведения эксперимента, был проведен расчет необходимой частоты звуковых колебаний, которая соответствует частоте свободных колебаний элементов структуры бетонных образцов.

Частота колебаний определяется следующей формулой [90]:

$$f = \frac{1}{T}, (1)$$

где  $T$  – период колебаний, принимаемый равным, с:

$$f = 2 \cdot t, (2)$$

где  $t$  – время прохождения звуковой волны в среде, с.

Точка, находящаяся на расстоянии  $x$  от точки возбуждения, станет совершать колебательные движения, отставая на время  $t$ , необходимое для прохождения волной расстояния  $x$  [91]:

$$f = \frac{x}{c}, (3)$$

где  $c$  – скорость звуковой волны в рассматриваемой среде, м/с;

$x$  - характеризуется размером частицы  $h$ , м.

Значительное различие в модулях упругости крупного заполнителя и цементного камня [85] является основой предположения об условной свободе колебаний частиц крупного заполнителя. Рассчитаем частоты собственных свободных колебаний частиц крупного заполнителя бетона и бетонного образца.

По справочным данным [92] скорость звука в бетоне колеблется в диапазоне 4200 м/с – 5300 м/с.

Размер частицы определяется фракцией крупного заполнителя бетонной смеси и составляет 5...20 мм. Соответственно, частота колебаний частиц с крайними значениями размеров заполнителя:

При  $h_1 = 5$  мм (0,005 м)

$$t_{11} = 0,005 / 4200 = 1,9 \text{ (мкс)}$$

$$T_{11} = 2 \cdot 0,00000119 = 2,38 \text{ (мкс)}$$

$$f_{11} = 1 / 0,00000238 = 420\,168 \text{ (Гц)} = 420,2 \text{ кГц}$$

$$t_{12} = 0,005 / 5300 = 0,94 \text{ (мкс)}$$

$$T_{12} = 2 \cdot 0,00000094 = 1,89 \text{ (мкс)}$$

$$f_{12} = 1 / 0,00000189 = 529\,100 \text{ (Гц)} = 529,1 \text{ кГц}$$

При  $h_2 = 20$  мм (0,02 м)

$$t_{21} = 0,02 / 4200 = 4,76 \text{ (мкс)}$$

$$T_{21} = 2 * 0,00000476 = 9,52 \text{ (мкс)}$$

$$f_{21} = 1 / 0,00000952 = 105\,042 \text{ (Гц)} = 105,0 \text{ кГц}$$

$$t_{22} = 0,02 / 5300 = 3,77 \text{ (мкс)}$$

$$T_{22} = 2 * 0,00000377 = 7,55 \text{ (мкс)}$$

$$f_{22} = 1 / 0,00000755 = 132\,450 \text{ (Гц)} = 132,5 \text{ кГц}$$

Диапазон частот собственных колебаний частиц крупного заполнителя бетона согласно приведенным расчетам составил 105,0 – 529,1 кГц.

Согласно приведенным выше формулам, рассчитаем собственную частоту свободных колебаний бетонного образца:

Высота образца  $h = 20 \text{ см (0,2 м)}$

$$t_1 = 0,2 / 4200 = 47,62 \text{ (мкс)}$$

$$T_1 = 2 * 0,00004762 = 95,24 \text{ (мкс)}$$

$$f_1 = 1 / 0,00009524 = 10\,500 \text{ (Гц)} = 10,5 \text{ кГц}$$

$$t_2 = 0,2 / 5300 = 37,74 \text{ (мкс)}$$

$$T_2 = 2 * 0,00003774 = 75,47 \text{ (мкс)}$$

$$f_2 = 1 / 0,00007547 = 13\,250 \text{ (Гц)} = 13,25 \text{ кГц}$$

Диапазон частот собственных колебаний экспериментального образца согласно приведенным расчетам составил 10 500 – 13 250 Гц.

Однако полученные значения частот требует значительных дополнительных затрат, при этом возбуждение ультразвуковых колебаний в крупногабаритных бетонных изделиях и конструкциях технически невозможно или чрезвычайно сложно. Кроме этого, полученные в расчетах значения частот превышают нормируемое значение частоты звуковых колебаний, влияющих на здоровье человека [93]. Исходя из этого, было принято решение о проведении экспериментов по влиянию акустического воздействия на влагопоглощение бетона на частоте 4000 Гц, что близко к частоте изгибных колебаний образца бетона марки В30 с указанными выше размерами и механическими свойствами. На рисунке 32 показана низшая форма колебаний бетонного образца (изгиб, частота 3900 Гц),

полученная расчетом методом конечных элементов в среде ANSYS Workbench. Отметим, что ближайшая крутильная форма может появиться лишь на частоте 6300 Гц, вторая изгибная – 9074 Гц и в экспериментах не реализуются. Известно, что околорезонансные режимы возбуждения колебаний эффективно деформируют образец и способствуют закрытию-раскрытию микротрещин на поверхности, что в экспериментах в водной среде ведет к усилению влагопоглощения.

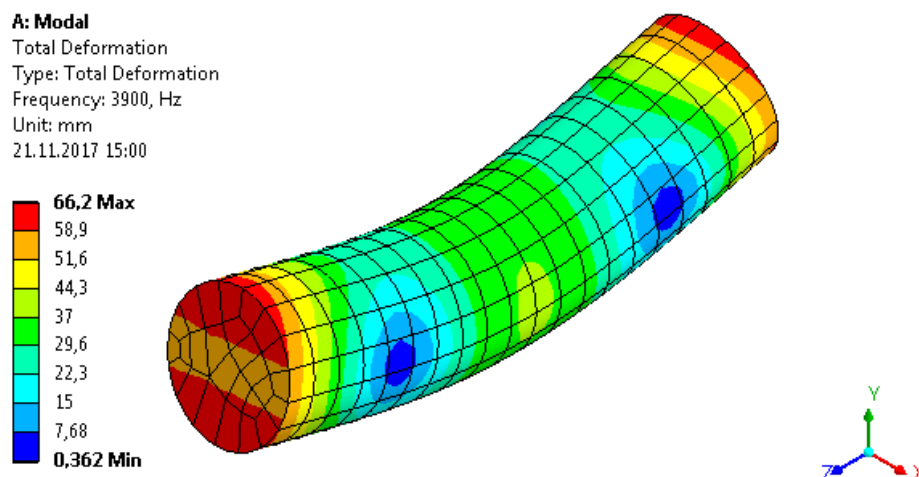


Рисунок 32 – Форма колебаний образца бетона на изгиб, частота 3900 Гц.

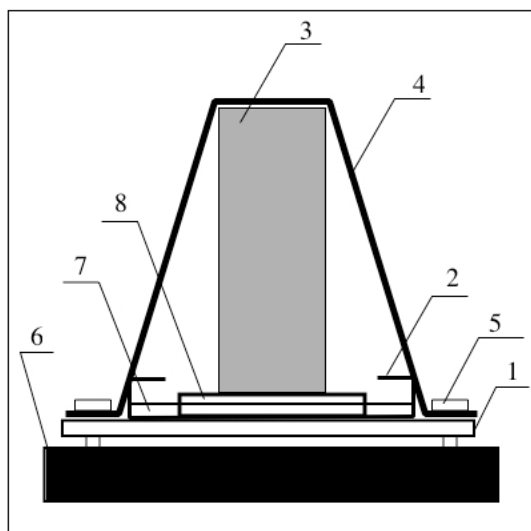
В эксперименте использовался вибрационный электродинамический стенд ВЭДС-200 [94]. Установки испытательные вибрационные электродинамические серии ВЭДС предназначены для проведения испытаний изделий на воздействие однокомпонентной гармонической вибрации в вертикальном направлении. Данные установки входят в параметрический ряд унифицированных виброустановок, построенные по модульному принципу с использованием полупроводниковой, микропроцессорной и цифровой элементной базы. Стенд состоит из генератора синусоидальных сигналов для управления частотой и амплитудой возбуждения, промежуточного усилителя и стола вибровозбудителя. Параметры установки ВЭДС-200 представлены в таблице 5.

Бетонные образцы по одному устанавливались и крепились на стол стенда ВЭДС-200 согласно приведенной схеме (рисунок 33). Была разработана конструкция крепления образца в емкости с проникающим составом к столу вибровозбудителя, состоящая из следующих элементов: площадки из фанерного

листа (1), на котором располагалась ванночка с раствором (2) и погруженным в него образцом (3), устойчивость этой конструкции обеспечивалась жестяным листом (4), прикрепленным фиксирующими болтами (5) к фанерной площадке (1) и столу вибровозбудителя (6). Далее образцы, погруженные в раствор, подвергались звуковому воздействию в течение 3 минут, после чего извлекались из установки и помещались в аналогичные емкости с теми же растворами для дальнейшего влагопоглощения без дополнительных воздействий.

Таблица 5 – Параметры испытательной установки ВЭДС-200

| № п/п | Наименование параметра, единица измерения                      | Количественная оценка |
|-------|--|-----------------------|
| 1     | Максимальная возбуждающая сила, Н                              | 2000                  |
| 2     | Рабочий диапазон частот, Гц:<br>- номинальный<br>- расширенный | 20 – 2500<br>5 – 5000 |
| 3     | Максимальное ускорение, м/с <sup>2</sup>                       | 400                   |
| 4     | Максимальное перемещение стола, мм                             | ± 4,5                 |
| 5     | Максимальная масса нагрузки, кг                                | 45                    |



- 1 – площадка из фанерного листа;
- 2 – пластиковая ванночка;
- 3 – бетонный образец;
- 4 – фиксирующий жестяной лист;
- 5 – фиксирующий болт;
- 6 – стол вибровозбудителя ВЭДС-200;
- 7 – используемый раствор;
- 8 – марлевая прокладка.

Рисунок 33 – Схема крепления образца к установке ВЭДС-200:

В результате проведенного эксперимента получили зависимость влагопоглощения затвердевших бетонных образцов по времени: при воздействии звуковых колебаний и при их отсутствии - для исследуемых типов сред и двух

вариантов расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения (рисунок 34).

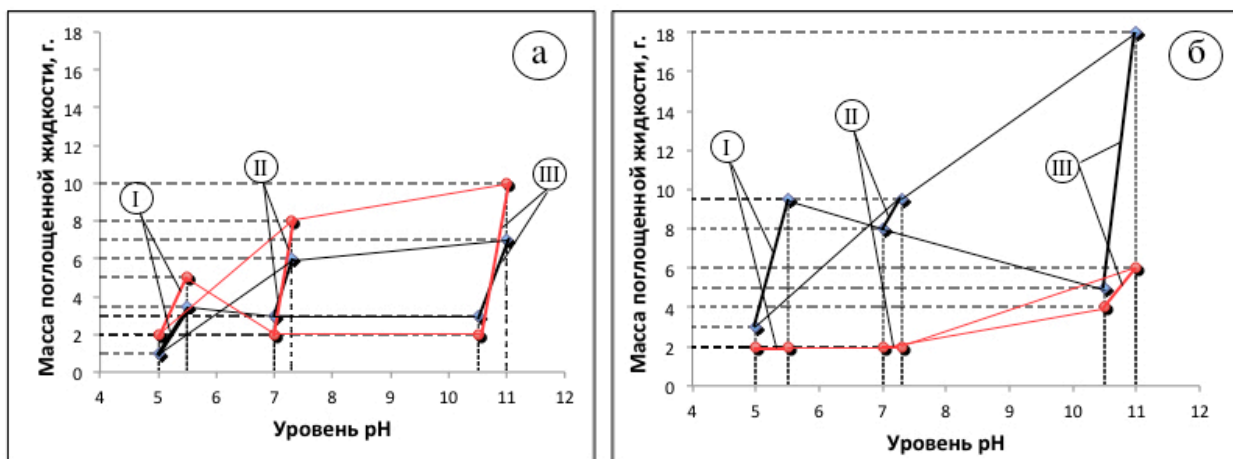


Рисунок 34 – Влагопоглощение бетона при разном характере расположения слоев бетона относительно плоскости влагопоглощения:

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

Как видно из графиков, при параллельном характере расположения слоев укладки бетонной смеси в образцы относительно плоскости влагопоглощения (согласно рисунку 26), воздействие звуковых колебаний приводит к увеличению влагопоглощения образцов для большинства рассматриваемых сред. Прирост по влагопоглощению при наличии акустического воздействия составляет 33 – 43% от W210. Положительное влияние звуковой обработки на влагопоглощение образцов особенно наблюдается при увеличении плотности составов. Исключение составляет лишь среды с  $\text{pH}=7$  и  $\text{pH}=10,5$ . Как известно, облитерация в значительной мере тормозит массоперенос в пористо-капиллярных материалах; на эффект облитерации оказывают влияние вибрация, а также электромагнитные и акустические поля. В работе [81] говорится, что «воздействие ультразвуковых колебаний или акустического и электромагнитного полей приводит к изменению структуры жидкости и к снижению вязкости в сотни раз, а также к разрушению структуры приграничного слоя, т.е. снятию облитерации капилляров».

При этом при перпендикулярном характере расположения слоев укладки бетона относительно плоскости влагопоглощения наблюдается обратное влияние. Акустическое воздействие снижает значение влагопоглощения образцов на 20 – 80 % по отношению к контрольным образцам без акустической обработки.

Данные закономерности можно связать с различным расположением системы капиллярных пор (ансамбли капилляров), создающих так называемые каналы. Создаваемое акустическим воздействием давление приводит к увеличению влагопоглощения в случае параллельно-уложенных слоев бетонной смеси относительно поверхности контакта образцов с новой средой, происходит «всасывание» раствора в пространство цементного камня между частицами щебня.

### **2.3 Определение наиболее значимых факторов. Основные выводы по главе.**

Теоретические исследования позволяют выделить следующие технологические факторы, влияющие на прочность контактной зоны бетонов:

- Механическая обработка поверхности, повышение площади контакта матрицами (А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев, В.И. Таркатюк, Y. He, J. Silfwerbrand, F. Muslim, H.S. Wong, T.K.Q. Chiu, N.R. Buenfeld и т.д.);
- Тепловая обработка бетона (Л.М. Колчеданцев, Б. И. Петраков, О.Г. Ступакова, Р.Р. Мустафин, В.В. Молодин, С.Г. Головнев);
- Химические добавки, поверхностно-активные вещества и клеевые составы (продукция компаний BASF, Ceresit, Mapei и т.д.);
- Электромагнитная обработка (S.M. Ahmed, D.F. Manar, Н.И. Горбунов, А.Ф. Юдина).

Кроме этого, по результатам проведенных экспериментальных исследований и анализа полученных данных можно сделать выводы:

1. Зачистка поверхности контакта от цементной пленки влияет на влагопоглощение бетона в зависимости от характера расположения слоев укладки относительно плоскости контакта. При параллельном характере расположении наблюдается увеличение влагопоглощения при отсутствии зачистки контактной

поверхности в 1,29–5,30 раз. При перпендикулярном расположении слоев наблюдается обратное влияние – зачистка контактной поверхности увеличивает значение влагопоглощения до 4,75 раз, однако для щелочной среды более высоким уровнем рН состояние контактной поверхности образцов (зачищенная или нет) не оказывает влияния.

2. Значительное влияние оказывает тип и уровень рН среды. Наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с более высоким уровнем рН, увеличение рН в данном случае происходит за счет увеличения концентрации щелочного компонента в растворе. Наблюдается увеличение влагопоглощения от 1,89 (при зачищенной контактной поверхности) до 4 (незачищенная контактная поверхность) раз по сравнению с нейтральной средой.

3. Целесообразность применения акустической обработки шва бетонирования необходимо оценивать совокупно с другими технологическими факторами устройства рабочего шва/стыка.

4. Акустическая обработка оказывает влияние на процесс влагопоглощения бетона: приводит к увеличению при параллельном расположении слоев бетона, а при перпендикулярном – к снижению; однако, не приводит к существенному улучшению показателей влагопоглощения образцов с максимальным результатом абсолютного значения массы поглощенной жидкости, достигнутым сочетанием наиболее значимых технологических факторов.

5. Выявлено влияние рассмотренных во второй главе факторов, преобладающее имеют тип и уровень рН новой среды, а также научный интерес вызывают данные влияния наличия/отсутствия механической обработки поверхности бетонного основания. Возникает необходимость экспериментальной проверки полученных во второй главе данных на бетонном стыке.

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ

#### КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ БЕТОНОВ

Во второй главе выявлена зависимость проникающей способности новой среды в бетонное основание от характера расположения плоскости контакта относительно слоев укладки бетонной смеси, акустической обработки зоны контакта, а также от типа и уровня рН новой среды. С увеличением уровня рН наблюдается повышение проникающей способности новой среды в бетонное основание. Логично предположить, что вновь укладываемая бетонная смесь с высоким содержанием щелочного компонента будет проявлять повышенную адгезию к бетонному основанию на клинкерном вяжущем.

В связи с вышеизложенным, автором диссертационного исследования был организован экспериментальный этап, где в качестве определяющего технологического фактора, влияющего на прочность рабочего шва принят тип и уровень рН новой среды – «нового» бетона», методика и результаты данного этапа представлены ниже, а также опубликованы в научных изданиях [95, 96].

Для изменения уровня рН эксперименты проводились на клинкерных и шлакощелочных бетонах, составы которых представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Составы для изготовления экспериментальных образцов

| № состава | Хар-ки затворяющей жидкости     |                      |      | R <sub>28</sub> , МПа | Расход на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг |       |                |             |                 |
|-----------|---------------------------------|----------------------|------|-----------------------|---------------------------------------|-------|----------------|-------------|-----------------|
|           | Хим. форм.                      | ρ, г/см <sup>3</sup> | рН   |                       | вяжущее                               | песок | щебень 5-20 мм | добавка     | затвор. раствор |
| 1         | H <sub>2</sub> O                | 0,998                | 7,1  | 49,5                  | ПЦ М500<br>420                        | 770   | 1050           | СП-1ВП<br>7 | 185             |
| 2         | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 1,14                 | 10,9 | 34,6                  | Шлак<br>425                           | 750   | 5-20<br>1095   | СП-1ВП<br>7 | 170             |
| 3         | NaOH                            | 1,16                 | 12,4 | 39,3                  |                                       |       |                |             |                 |

Характеристика затворяющей жидкости:

- Состав №1 – затворяющая жидкость – вода (рН=7.1);

- Состав №2 - затворяющая жидкость – водный раствор карбоната натрия (рН=10.9);
- Состав №3 - затворяющая жидкость – водный раствор гидроксида натрия (рН=12.4).

Концентрации данных растворов были подобраны с использованием справочных данных [97]. Для контроля уровня рН использовался электронный рН-метр «РН-009 II». Уровень рН водных растворов не превышает показателя 12,5, что соответствует нормативному значению [98, 99]. Контроль плотности произведен с помощью ареометра АОН-1 ГОСТ 18481-81. Характеристика гранулированного шлака представлена в приложении 2.

Графики набора прочности исследуемых составов бетона представлены на рисунке 35.

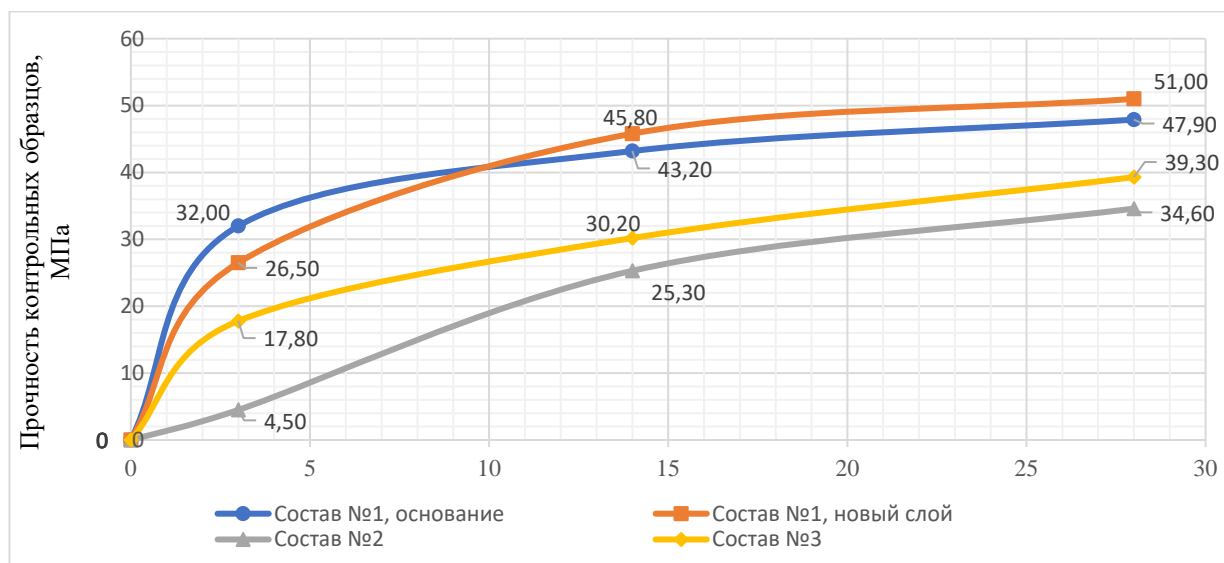


Рисунок 35 – Графики набора прочности бетона различных составов

В проводимых экспериментах для определения величины адгезии бетона была использована стандартная методика по ГОСТ Р 58277-2018 [100]. Согласно ей прочность сцепления определяется по силе отрыва образца затвердевшего «нового» бетона от основания – «старой» бетонной плиты.

Кроме этого, прочность рабочего шва определялась испытанием на сжатие и срез комбинированных образцов, состоящих из «старого» и вновь укладываемого «нового» бетона, согласно методике проводимых ранее экспериментов [62]. В этом

случае «новый» бетон укладывался к «старому» бетону, который предварительно выдерживался в нормальных условиях твердения в течении 1 и 28 суток. Этим самым имитировали устройство технологических швов монолитных и стыков сборно-монолитных железобетонных конструкций.

### 3.1 Определение прочности сцепления «нового» бетона с основанием из «старого» бетона по ГОСТ Р 58277-2018

Эксперимент проводился на базе завода «Символ-Бетон» и в лаборатории Архитектурно-строительного института (АСИ) Южно-Уральского государственного университета (НИУ ЮУрГУ).

Прочность адгезии с бетонной плитой определяют для затвердевших, в течении 28 суток, образцов из мелкозернистых смесей на портландцементе и шлакощелочной смеси. Испытания проводились согласно методике, изложенной в ГОСТ Р 58277-2018 [100], схема представлена на рисунке 36.

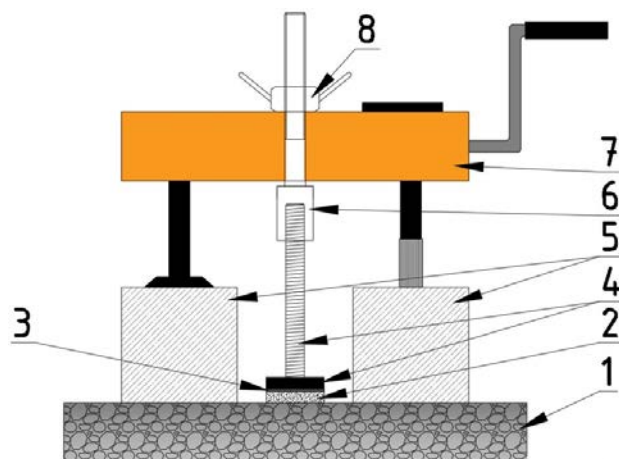


Рисунок 36 – Схема проведения испытаний при определении прочности сцепления раствора с основанием: 1 – бетонная плита из портландцемента класса В30; 2 – образец «нового» бетона ( $d=50\text{мм}$ ,  $h=10\text{мм}$ ); 3 – слой эпоксидного клея; 4 – Металлический штамп (размер пятки:  $d=50\text{мм}$ ,  $h=10\text{мм}$ ); 5 – бетонные блоки  $100\times 100\times 100\text{мм}$ ; 6 – переходник М16-М18; 7 – прижимная гайка М18

#### 3.1.1 Методика проведения эксперимента

1. Изготовление бетонной плиты из портландцемента класса В30 (состав №1 из таблицы 6). Выдерживание 28 суток.

2. Нанесение на бетонное основание смеси («новый» бетон) с помощью установленного кольца. Смесь сглаживают металлическим шпателем, после кольцо немедленно снимают. Плиту с образцами убирают в камеру нормального твердения на 7 суток, где происходит набор прочности при относительной влажности  $95\pm 5\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

3. После 7 суток твердения в камере, плита с образцами продолжает хранение в нормальных условиях при относительной влажности  $60\pm 10\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

4. Через 27 суток, после нанесения образцов на плиту, на затвердевшие образцы наклеивают стальные штампы при помощи эпоксидного клея и продолжают вести хранение в нормальных условиях при относительной влажности  $60\pm 10\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

5. Через 28 суток набора прочности производятся испытания образцов на отрыв.

6. Обработка результатов.

### **3.1.2 Средства испытания и вспомогательные устройства**

1. Плита-основание из бетона класса В30 размерами 300x150x40 мм, (состав №1, см. табл.1), изготовленная в соответствии с ГОСТ [100].

2. Трафарет. Согласно ГОСТ были изготовлены трафареты из нержавеющей стали. Сырьем для трафаретов послужила нержавеющая труба AISI 304, диаметр которой равен 57мм ( $h_{\text{стенки}} = 3\text{мм}$ ). Труба нарезалась на кольца, при помощи токарного станка, высотой по 10 мм, которые послужили в качестве трафаретов для образцов.

3. Металлический шпатель.

4. Штамп. В качестве штампа, который наклеивается поверх затвердевшего бетонного образца, использовались бобышки, изготовленные при помощи лазерной резки из стальной пластины, толщина которой равна 10мм. В качестве анкера использовался болт М16х150мм. Голова болта стачивается (округляется), а затем приваривается к стальной бобышке. Обратная сторона заготовки,

предназначенная для контакта с образцом и клеем, зачищается до получения ровной и гладкой поверхности.

5. Состав для приклеивания штампа к слою раствора. Использовался эпоксидный универсальный клей марки ЭДП, изготовитель ООО «НПК Астат» г. Дзержинск. Клей разводился в соотношении: 9 частей эпоксидной смолы (174,36 грамм) к 1 части отвердителя (19,54 грамм).

6. Камера нормального твердения, обеспечивающая твердение образцов при относительной влажности  $60\pm 10\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

7. Средства испытания. Для проведения испытаний на отрыв, для захвата анкерной части штампа и обеспечения нагружения, были использованы следующие установки: ОНИКС-1.ОС.050 (на базе завода «Символ-Бетон») и ОНИКС-1.ОС.100 (на базе НИУ ЮУрГУ – Лаборатория АСИ). Оборудование имело соответствующие свидетельства о поверке.

### **3.1.3 Изготовление образцов для испытания**

Образцы для эксперимента изготавливаются в форме цилиндров, диаметр которых равен 50мм. Толщина образцов не превышает 10мм.

На бетонную плиту (основание) устанавливался трафарет (стальное кольцо), внутрь кольца укладывается цементный раствор. Удаляется раствор, выступающий выше формы, для образования ровной поверхности при помощи металлического шпателя. По прошествии 5-10 минут производится вынимание кольца, при помощи вращательных движений с постепенным подниманием вверх. Таким образом обеспечивается плотное прилегание образца к плите-основанию без отрыва после укладки в форму, в противном случае образец бракуется и производится заливка нового цилиндра в форму.

Соблюдено расположение образцов на плите-основании: расстояние между образцами, а также краем плиты и цилиндром составляет более 50мм.

Для испытаний было изготовлено 15 образцов: по 5 штук на каждый состав.

Для соответствия требованиям ГОСТ, до проведения испытаний, образцы первые 7 суток хранятся в КНТ при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной

влажности  $95\pm 5\%$ , затем в течение 21 суток – при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной влажности  $60\pm 10\%$ .

Общее время набора прочности составило 28 суток.

### 3.1.4 Проведение испытаний, обработка результатов

По прошествии 27 суток, после укладки смесей на бетонную плиту-основание, произведена зачистка грани образца, предназначенной для наклеивания штампа, при помощи щетки по металлу и УШМ (угловая шлифовальная машина).

Далее, к образцам при помощи эпоксидного универсального клея марки ЭДП приклеивались, предварительно обезжиренные, стальные штампы, после чего оставлены на хранение при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной влажности  $60\pm 10\%$  еще на 24 часа, до полного высыхания клея.

На 28 сутки эксперимента, произвели испытания образцов на силу отрыва от бетонной плиты-основания, результаты представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Сила отрыва образца от основания

| №  | Состав | pH затворяющей жидкости | Выдерживание образцов, сут | F28, (кгс) | Параметры испытываемого образца |
|----|--------|-------------------------|----------------------------|------------|---------------------------------|
| 1  | 2      | 3                       | 4                          | 5          | 6                               |
| 1  | 1      | 7,1                     | 28                         | 88,2       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 2  | 1      | 7,1                     | 28                         | 91,1       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 3  | 1      | 7,1                     | 28                         | 85,8       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 4  | 1      | 7,1                     | 28                         | 86,4       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 5  | 1      | 7,1                     | 28                         | 83,6       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 6  | 2      | 10,9                    | 28                         | 53,0       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 7  | 2      | 10,9                    | 28                         | 33,2       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 8  | 2      | 10,9                    | 28                         | 30,4       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 9  | 2      | 10,9                    | 28                         | 50,8       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |
| 10 | 2      | 10,9                    | 28                         | 42,5       | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм        |

Продолжение таблицы 7

| 1  | 2 | 3    | 4  | 5     | 6                        |
|----|---|------|----|-------|--------------------------|
| 11 | 3 | 12,4 | 28 | 108,1 | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм |
| 12 | 3 | 12,4 | 28 | 118,6 | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм |
| 13 | 3 | 12,4 | 28 | 101,3 | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм |
| 14 | 3 | 12,4 | 28 | 111,8 | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм |
| 15 | 3 | 12,4 | 28 | 93,8  | Цилиндр:<br>ø50мм x 10мм |

При испытании по данной методике возможны следующие варианты отрыва образцов от плиты-основания (рисунок 37).

Для образцов шлакощелочного бетона состава №2 характерен вариант отрыва АТ-1. Для образцов составов №1 (клинкерный бетон) и составом №3 (шлакощелочной бетон) характерен вариант отрыва АТ-3.

Прочность адгезии образца с плитой-основанием определяют, как максимальную силу, приложенную перпендикулярно к поверхности образца, при которой происходит отрыв образцов от основания.

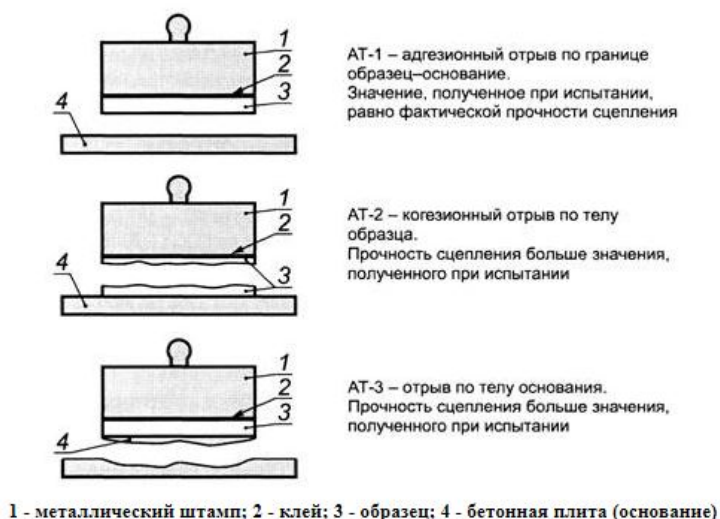


Рисунок 37 – Варианты отрыва образца от основания

Прочность сцепления с основанием при испытании одного образца  $A_i$ , МПа, определяется:

$$A_i = F/S, \quad (4)$$

где  $F$  – максимальная сила отрыва образца от основания, Н;

$S$  – площадь контакта поверхности образца сцепления, мм<sup>2</sup>.

Полученные единичные значения прочности округляются до 0,1 МПа.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $A$ , МПа, расчет которых ведется по формуле:

$$A = (A_1 + \dots + A_n)/n, \quad (5)$$

где  $n$  – количество образцов в серии.

Среднеарифметические значения прочности также округляются до 0,1 МПа.

Результаты эксперимента рассчитанные по приведенной последовательности приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Прочность адгезии бетонных образцов с основанием

| № состава | Тип смеси, уровень pH затворяющей жидкости | Прочность сцепления $A$ , МПа | Относительная прочность сцепления, % |
|-----------|--|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1         | Клинкерная, pH = 7,1                       | 0,4                           | 100                                  |
| 2         | Шлакощелочная, pH = 10,9                   | 0,2                           | 50                                   |
| 3         | Шлакощелочная, pH = 12,4                   | 0,5                           | 125                                  |

За 100% принята прочность адгезии бетона на клинкерном вяжущем, как наиболее распространенного варианта.

Из представленных данных видно, что величина сцепления зависит не только от уровня pH, но и от вида вяжущего. Так для шлакощелочного бетона на растворе кальцинированной соды (состав №2 из таблицы 6) величина адгезии меньше в два раза по сравнению с контрольным образцом бетона на клинкерном вяжущем.

Это может являться следствием того, что кинетика твердения и 28-ми суточная прочность этого состава бетона значительно ниже, чем у бетона на клинкерном вяжущем (см. рисунок 35). Кроме этого, характер отрыва происходит по варианту АТ-1 (см. рисунок 37), что так же говорит о невысокой адгезии этого состава бетона.

Прочность сцепления образцов из шлакощелочной смеси с pH щелочного компонента 12,4 (состав №3 из таблицы 6) превосходит величину прочности сцепления образцов на клинкерном вяжущем (состав №1 из таблицы 6) на 25%. При

этом, у образцов из этих составов совпадает характер отрыва, который происходит по варианту АТ-3, несмотря на то, что прочность состава № 3 так же ниже прочности состава №1 на клинкерном вяжущем. Это говорит о высокой адгезии шлакощелочной смеси с рН щелочного компонента 12,4.

Полученные результаты проведенного эксперимента говорят о том, что шлакощелочные вяжущие с низким уровнем рН обладают невысокой активностью, которая существенно возрастает с его увеличением» [96].

Результаты проведенного эксперимента полностью совпадают с выводами профессора В.Д. Глуховского, который отмечал увеличение активности шлаковых вяжущих при повышении их уровня рН [101]. Это же подтверждают данные, полученные при проводимых ранее экспериментальных исследованиях (2 глава), которые показывают: с повышением уровня рН новой среды увеличивается ее проникающая способность.

Выполнены численные исследования по определению прочности на отрыв в зависимости от вида вновь укладываемой бетонной смеси и уровня рН затворяющего раствора методом наименьших квадратов.

Метод наименьших квадратов дает наилучшие (состоятельные, эффективные и несмещенные) оценки параметров уравнения регрессии. Формально критерий МНК можно записать так:

$$S = \sum (y_i - y_i^*)^2 \rightarrow \min \quad (6)$$

Система нормальных уравнений:

$$\begin{cases} a \cdot n + b \cdot \sum x = \sum y \\ a \cdot \sum x + b \cdot \sum x^2 = \sum y \cdot x \end{cases} \quad (7)$$

Для расчета параметров регрессии построим расчетную таблицу (таблица 9).

Таблица 9 – Расчетная таблица

| X    | Y   | X <sup>2</sup> | Y <sup>2</sup> | X · Y |
|------|-----|----------------|----------------|-------|
| 7,1  | 0,4 | 50,41          | 0,16           | 2,84  |
| 10,9 | 0,2 | 118,81         | 0,04           | 2,18  |
| 12,4 | 0,5 | 153,76         | 0,25           | 6,2   |
| 30,4 | 1,1 | 322,98         | 0,45           | 11,22 |

Соответственно для данных система уравнений имеет вид:

$$\begin{cases} 3a + 30,4b = 1,1 \\ 30,4a + 322,98b = 11,22 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -30,4a - 308,043b = -11,146 \\ 30,4a + 322,98b = 11,22 \end{cases}$$

$$14,937b = 0,737 \Rightarrow b = 0,00491, \text{ таким образом } a = 0,3169$$

Подсчитаем параметры уравнения регрессии:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{30,4}{3} = 10,133$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{1,1}{3} = 0,367$$

$$\overline{xy} = \frac{\sum x_i y_i}{n} = \frac{11,22}{3} = 3,74$$

Выборочные дисперсии:

$$S(x)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2 = \frac{322,98}{3} - 10,133^2 = 4,98$$

$$S(y)^2 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2}{n} - \bar{y}^2 = \frac{0,45}{3} - 0,367^2 = 0,0156$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$S(x) = \sqrt{S(x)^2} = \sqrt{4,98} = 2,231$$

$$S(y) = \sqrt{S(y)^2} = \sqrt{0,0156} = 0,125$$

Коэффициент корреляции:

$$r_{xy} = \frac{\overline{x \cdot y} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{S(x) \cdot S(y)} = \frac{3,74 - 10,133 \cdot 0,367}{2,231 \cdot 0,125} = 0,0879$$

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

$$A = 0,00491X_1 + 0,3169, (8)$$

где  $X_1$  – вид бетонной смеси с характеризующим его уровнем водородного показателя затворяющего раствора (рН). Видно, что при увеличении уровня рН затворяющего раствора (определяющего вид бетонной смеси) вновь укладываемой

бетонной смеси к бетонному основанию («старый» бетон) увеличивается прочность сцепления образцов.

Для подтверждения полученных экспериментальных данных так же были проведены исследования по моделированию работы бетона в зоне контакта «нового» бетона с ранее уложенным и набравшим определенную прочность «старым» бетоном. Для этого были использованы методики, по которым ранее на кафедре Технологии строительного производства (сейчас СПиТС) ЮУрГУ профессором Головневым С.Г. были проведены эксперименты по исследованию изменения сцепления бетона при устройстве технологических швов в зависимости от его температуры [62]. Первый метод заключался в определении прочности бетона на сжатие параллельно плоскости рабочего шва, второй – в оценке прочности рабочего шва через прочность на срез.

### **3.2 Определение прочности бетона в зоне контакта на сжатие параллельно плоскости рабочего шва**

По данной методике формы размером 100x100x100 мм наполовину заполнялись бетоном состава №1 (см. таблицу 6), оставляя другую часть формы того же размера свободной. Далее все образцы были поделены на две группы:

- в образцы первой группы укладка «нового» бетона в свободную часть формы производилась через сутки твердения «старого» бетона;
- в образцы второй группы – по истечению 28 суток в условиях нормального твердения.

Общая схема эксперимента продемонстрирована на рисунке 38.

В качестве «нового» бетона использовались составы № 1, 2 и 3, согласно данных таблицы 6. В результате чего испытываемый образец представлял из себя кубик размером 100x100x100 мм, который состоял наполовину из «старого» и «нового» бетона.

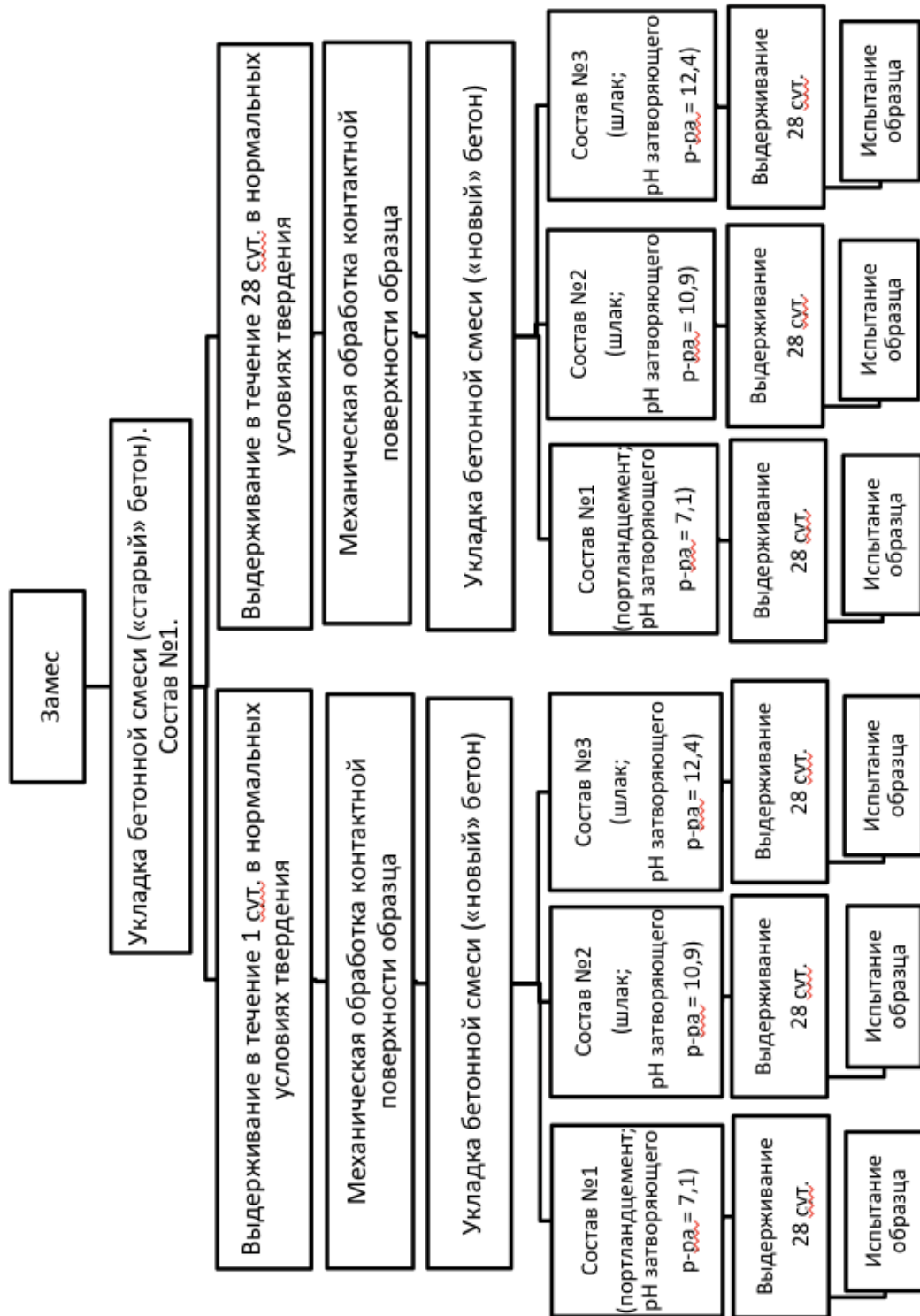
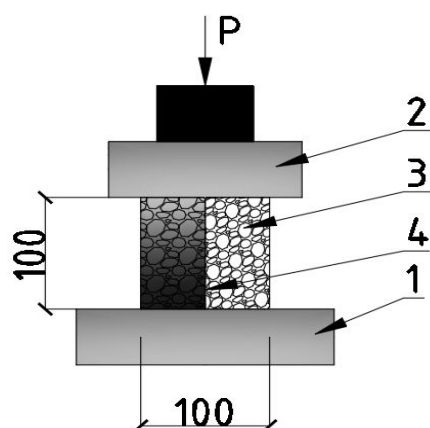


Рисунок 38 – Общая схема эксперимента на определение прочности бетона в контактной зоне на сжатие

Определение прочности на сжатие комбинированных образцов проводилось после 28 суток нормального хранения на прессе МАТЕСТ С040N 1500/250 кН. Нагрузка прикладывалась вдоль слоев укладки и плоскости рабочего шва. Схема проведения испытаний по данной методике представлена на рисунке 39.



- 1 – опорная площадка прессы;  
 2 – рабочий шток прессы;  
 3 – испытываемый образец;  
 4 – плоскость рабочего шва.

Рисунок 39 – Схема проведения испытаний бетонного кубика на сжатие

Напряжение сжатия определялось как отношение максимальной нагрузки -  $P$  (кг), при которой происходит разрушение образца, к площади рабочего шва -  $F$  (см<sup>2</sup>); масштабный фактор  $\alpha = 0,95$ . Данные испытания представлены в таблице 10.

$$R_{28} = \alpha \cdot \frac{P}{F} \quad (9)$$

Таблица 10 – Результаты испытания на сжатие

| № серии | Состав | Режим выдерживания | Максимальная нагрузка $P$ (кг) | Прочность образца, МПа | Прочность серии, МПа |
|---------|--------|--------------------|--------------------------------|------------------------|----------------------|
| 1       | 1      | 1/28               | 454,737                        | 43,2                   | 45,1                 |
|         |        |                    | 491,579                        | 46,7                   |                      |
|         |        |                    | 506,315                        | 48,1                   |                      |
|         |        |                    | 446,298                        | 42,4                   |                      |
| 2       | 1      | 28/28              | 425,263                        | 40,4                   | 43,9                 |
|         |        |                    | 481,086                        | 45,7                   |                      |
|         |        |                    | 455,789                        | 43,3                   |                      |
|         |        |                    | 486,346                        | 46,2                   |                      |
| 3       | 2      | 1/28               | 461,058                        | 43,8                   | 41,2                 |
|         |        |                    | 415,822                        | 39,5                   |                      |
|         |        |                    | 435,538                        | 41,4                   |                      |
|         |        |                    | 422,115                        | 40,1                   |                      |
| 4       | 2      | 28/28              | 418,972                        | 39,8                   | 38,0                 |
|         |        |                    | 364,118                        | 34,6                   |                      |
|         |        |                    | 390,652                        | 37,1                   |                      |
|         |        |                    | 426,624                        | 40,5                   |                      |
| 5       | 3      | 1/28               | 452,632                        | 43,0                   | 42,7                 |
|         |        |                    | 409,476                        | 38,9                   |                      |
|         |        |                    | 474,783                        | 45,1                   |                      |
|         |        |                    | 461,056                        | 43,8                   |                      |
| 6       | 3      | 28/28              | 487,368                        | 46,8                   | 45,7                 |
|         |        |                    | 468,421                        | 44,5                   |                      |
|         |        |                    | 496,842                        | 47,2                   |                      |
|         |        |                    | 466,321                        | 44,3                   |                      |

Для анализа полученных данных была подсчитана средняя прочность образцов  $R_{cp}$ , как среднеарифметическое прочностей двух половинок «старого» ( $R_{28-СБ}$ ) и «нового» бетона ( $R_{28-НБ}$ ), которая сопоставлялась с прочностью комбинированного образца  $R_{28}$ .

$$R_{cp} = \frac{R_{28-СБ} + R_{28-НБ}}{2} \quad (10)$$

$$R_{отн} = \frac{R_{cp}}{R_{28}} \cdot 100\% \quad (11)$$

Данные относительной прочности  $R_{отн}$  на сжатие комбинированного образца к расчетной средней прочности приведены в таблице 11.

Таблица 11 - Относительная прочность на сжатие комбинированного образца к средней расчетной прочности

| № | pH   | $R_{28-СБ}$<br>«старого»<br>бетона,<br>МПа | $R_{28-НБ}$<br>«нового»<br>бетона,<br>МПа | $R_{cp}$<br>среднее,<br>МПа | $R_{28}$<br>образца,<br>Мпа | Режим<br>выдержи<br>вания | Относительная<br>прочность<br>образца $R_{отн}$ , % |
|---|------|--|---|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---|
| 1 | 7,1  | 47,9                                       | 51,0                                      | 49,5                        | 45,1                        | 1/28                      | 91  |
| 2 | 7,1  | 47,9                                       | 51,0                                      | 49,5                        | 43,9                        | 28/28                     | 89  |
| 3 | 10,9 | 47,9                                       | 34,6                                      | 41,25                       | 41,2                        | 1/28                      | 100   |
| 4 | 10,9 | 47,9                                       | 34,6                                      | 41,25                       | 38,0                        | 28/28                     | 92  |
| 5 | 12,4 | 47,9                                       | 39,3                                      | 43,6                        | 42,7                        | 1/28                      | 98  |
| 6 | 12,4 | 47,9                                       | 39,3                                      | 43,6                        | 45,7                        | 28/28                     | 105   |

Режим выдерживания 1/28 подразумевает следующие этапы:

1. Укладку бетона основания;
2. Выдерживание 1 сутки в нормальных условиях твердения;
3. Укладку бетона нового слоя;
4. Выдерживание 28 суток в нормальных условиях твердения.

Режим выдерживания 28/28 подразумевает:

1. Укладку бетона основания;
2. Выдерживание 28 суток в нормальных условиях твердения;
3. Укладку бетона нового слоя;
4. Выдерживание 28 суток в нормальных условиях твердения.

На рисунке 40 и рисунке 41 приведена зависимость сброса/прироста прочности рабочего шва по отношению к расчетной средней прочности образцов от уровня рН для обоих режимов выдерживания.

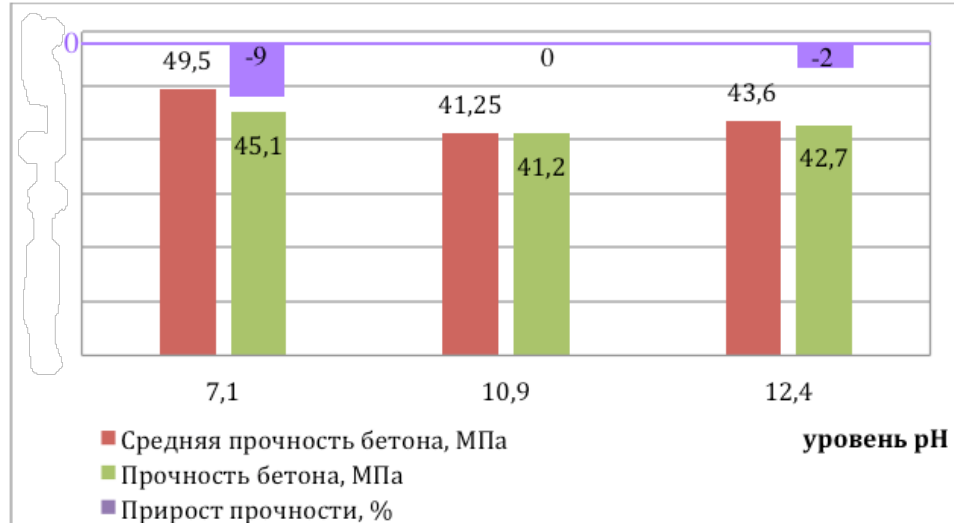


Рисунок 40 – Диаграмма прочности рабочего шва при различном уровне рН при режиме выдерживания 1/28

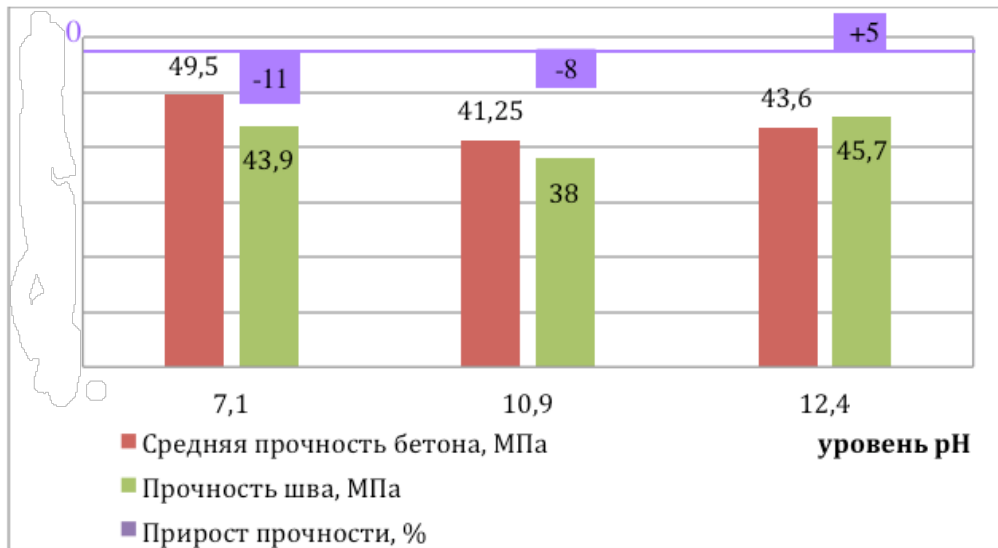


Рисунок 41 – Диаграмма прочности рабочего шва при различном уровне рН при режиме выдерживания 28/28

Данные по режиму 1/28 показывают, что снижение прочности - 9% происходит только для бетонов на клинкерном вяжущем с рН равным 7,1. Для образцов шлакощелочного бетона с рН 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, а для рН 12,4 наблюдается прирост прочности, который составляет 5%.

Кроме этого, при проведении испытаний отмечался характер разрушения. Так разрушение образцов, выдерживаемых по режиму 1/28 с рН 7,1 произошло по рабочему шву, а для образцов с рН 10,9 и 12,4 не по плоскости рабочего шва (см. рисунок 42). Это может означать то, что прочность рабочего шва данных образцов выше прочности составляющих его бетонов.

В случае выдерживания образцов по режиму 28/28, у всех образцов наблюдался одинаковый характер разрушения – по плоскости рабочего шва.

В результате расчетов были получены уравнения множественной регрессии для двух случаев – при устройстве контакта вновь укладываемой бетонной смеси со «старым» бетоном возраста 1 сут. (9), и возраста 28 сут. (10).

Определим вектор оценок коэффициентов регрессии. Согласно методу наименьших квадратов, вектор  $S$  получается из выражения:

$$s = (X^T X)^{-1} X^T Y$$

К матрице с переменными  $X_j$  добавляем единичный столбец:

|   |      |      |
|---|------|------|
| 1 | 7,1  | 51   |
| 1 | 10,9 | 34,6 |
| 1 | 12,4 | 39,3 |

Матрица  $Y$

|      |
|------|
| 45,1 |
| 41,2 |
| 42,7 |

Матрица  $X^T$

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 1   | 1    | 1    |
| 7,1 | 10,9 | 12,4 |
| 51  | 34,6 | 39,3 |

Умножаем матрицы ( $X^T X$ )

$$X^T X =$$

|       |         |         |
|-------|---------|---------|
| 3     | 30,9    | 124,9   |
| 30,4  | 322,98  | 1226,56 |
| 124,9 | 1226,56 | 5342,65 |

Умножаем матрицы ( $X^T Y$ )

$$X^T Y =$$

|         |
|---------|
| 129     |
| 1287,77 |
| 5403,73 |

Находим обратную матрицу  $(X^T X)^{-1}$

$$(X^T X)^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 122,65 & -5,1137 & -1,6933 \\ \hline -5,1137 & 0,2374 & 0,06505 \\ \hline -1,6933 & 0,06505 & 0,02484 \\ \hline \end{array}$$

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен

$$Y(X) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 122,65 & -5,1137 & -1,6933 \\ \hline -5,1137 & 0,2374 & 0,06505 \\ \hline -1,6933 & 0,06505 & 0,02484 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline 129 \\ \hline 1298,77 \\ \hline 5403,73 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline 30,1785 \\ \hline 0,1477 \\ \hline 0,272 \\ \hline \end{array}$$

При устройстве контакта вновь укладываемой бетонной смеси со «старым» бетоном возраста 1 сут. уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$Y_{(1/28)} = 30,1785 + 0,1477X_1 + 0,272X_2, \quad (12)$$

где  $Y_{(1/28)}$  – прочность рабочего шва на сжатие при устройстве контакта в возрасте «старого» бетона равном 1 сутки;  $X_1$  – вид бетонной смеси с характеризующим его уровнем водородного показателя затворяющего раствора (рН);  $X_2$  – прочность «нового» бетона на сжатие ( $R_{28 \text{ н.б.}}$ ).

Действуя аналогичным образом, можно найти уравнение регрессии при устройстве контакта вновь укладываемой бетонной смеси со «старым» бетоном возраста 28 сут.:

$$Y_{(28/28)} = -18,3542 + 2,321X_1 + 0,8976X_2, \quad (13)$$

где  $Y_{(28/28)}$  – прочность рабочего шва на сжатие при устройстве контакта в возрасте «старого» бетона равном 28 суток;  $X_1$  – вид бетонной смеси с характеризующим его уровнем водородного показателя затворяющего раствора (рН);  $X_2$  – прочность «нового» бетона на сжатие ( $R_{28 \text{ н.б.}}$ ).

Видно, что 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.

На основании данных, представленных во второй главе, рассматривалось влияние и другого технологического фактора – наличие/отсутствие механической обработки поверхности бетона-основания при его контакте со шлакощелочными бетонами (состав №2, 3).



А – разрушение образцов с рН 7,1 по плоскости рабочего шва;



Б – разрушение образцов с рН 10,9 и 12,4 не по плоскости рабочего шва.

Рисунок 42. Характер разрушения образцов при выдерживании по режиму 1/28

Методика проведения испытаний оставалась прежней, при этом некоторая часть образцов I группы не подвергалась зачистке контактной поверхности «старого» бетона. Полученные результаты приведены в таблице 12.

Анализируя результаты, можно заключить: наблюдается отсутствие потери прочности на сжатие бетона контактной зоны при отказе от зачистки ее поверхности и даже незначительный прирост прочности. Представленные данные подтверждают результаты предварительного экспериментального исследования, описанного во второй главе.

Таблица 12 – Прочность на сжатие комбинированного образца при наличии/отсутствии механической обработки контактной поверхности «старого» бетона

| № состава | рН   | R <sub>28</sub> «старого» бетона, МПа | R <sub>28</sub> «нового» бетона, МПа | R <sub>28</sub> среднее, МПа | R <sub>28</sub> 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                       |

### 3.3 Определение прочности бетона в зоне контакта на срез

Выбор схемы испытаний произведен с учетом проведенного в работе [102] анализа различных схем. По выбранной методике в формах размером 300x100x100 мм крайние ячейки размером 100x100x100 мм заполнялись бетонной смесью состава №1, при этом центральная ячейка остается незаполненной. Изготовленные таким способом образцы аналогично испытаниям по первой методике также были разделены на две группы (дозаполнение формы через 1 сутки и через 28 суток после укладки крайних ячеек) и выдерживались в камере нормального хранения. Затем плоскость контакта с вновь укладываемым бетоном подвергалась зачистке, после чего свободную центральную часть формы размером 100x100x100 мм заполняли свежеприготовленной бетонной смесью составов № 1, 2, 3 (см. таблицу 1).

Испытываемый образец-балочка (размером 300x100x100 мм) представлял собой комбинацию «старого» бетона (по краям) и вновь укладываемого в центре «нового» бетона. Схема эксперимента представлена на рисунке 43.

Определение прочности на срез комбинированных образцов проводилось через 28 суток нормального хранения после дозаполнения форм на прессе SHENLI WAW-600kH. Нагрузка прикладывалась вдоль плоскости рабочего шва. Схема проведения испытаний по второй методике представлена на рисунке 44.

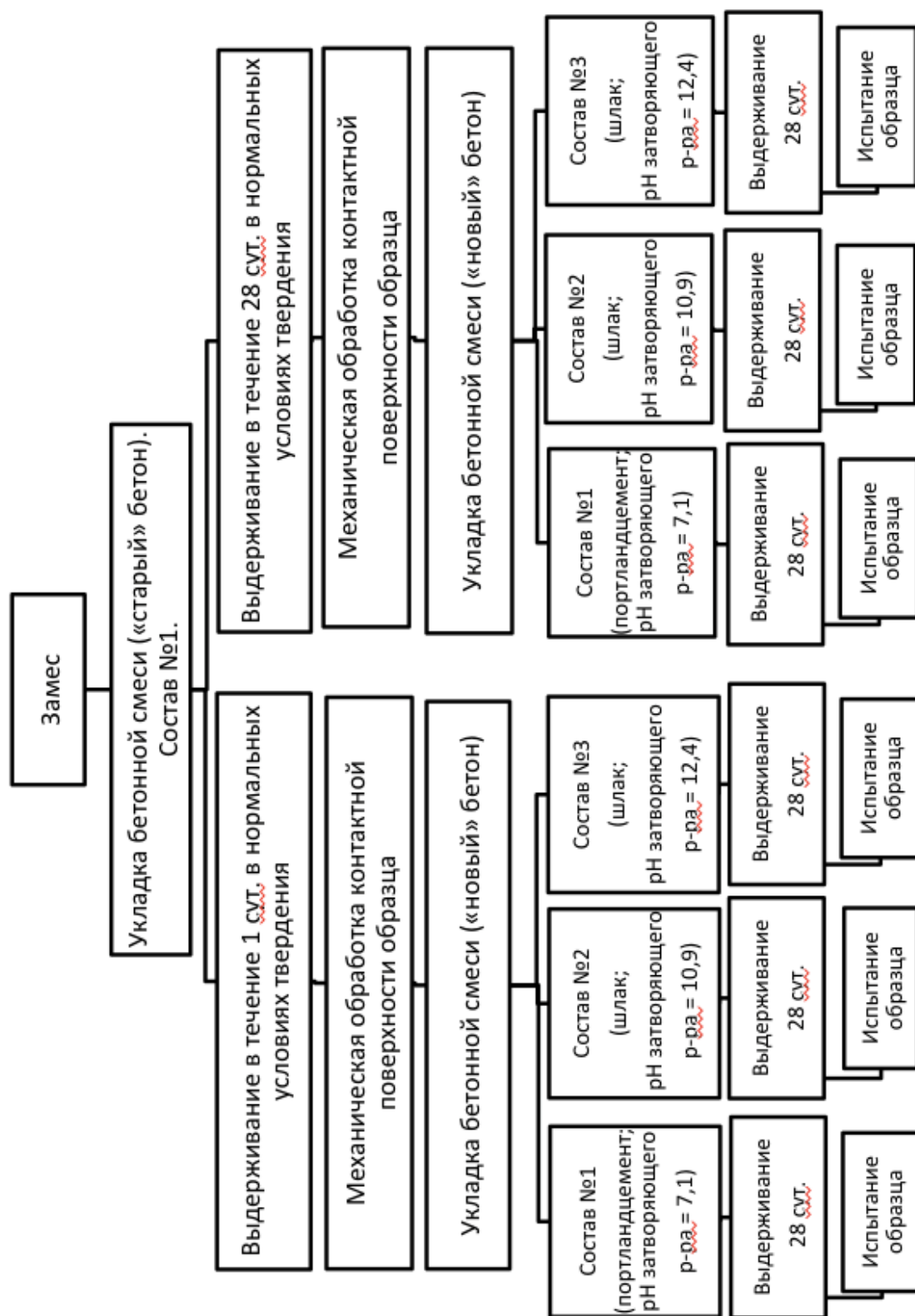
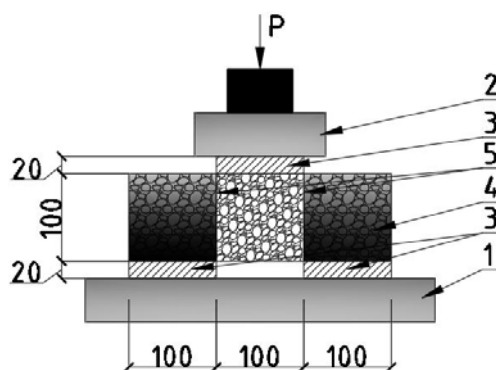


Рисунок 43 – Схема проведения эксперимента по определению прочности бетона в контактной зоне на срез



- 1 – опорная площадка пресса;  
 2 – рабочий шток пресса;  
 3 – металлическая пластина размером 100x100x20мм;  
 4 – испытываемый образец-балка;  
 5 – плоскости среза

Рисунок 44 – Схема проведения испытаний бетонной балочки на срез в зоне технологического 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>), масштабный фактор  $\alpha = 0,95$ .

$$R_{sh} = \alpha \cdot \frac{P}{F} \quad (14)$$

Данные испытаний занесены в таблицу 12 и представлены в графическом виде (рисунок 45).

Таблица 12 – 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           |

Из данных, представленных в таблице, видно, что прочность стыка, который был выполнен через 1 сутки значительно ниже, чем соединения выполненного в 28 – ми суточном возрасте.

Это можно объяснить тем, что проникающая способность частиц «нового» бетона, в односуточный бетон ниже из-за его высокого водонасыщения. То есть, еще большая часть воды в бетоне не прореагировала с цементом и находится в свободном несвязном состоянии.

На рисунке 45 представлены данные прочности соединения «старого» клинкерного бетона с «новым» шлакощелочным бетоном, имеющим разные значения рН. Эти значения приведены в относительном процентном соотношении к контрольному образцу бетона на клинкерном вяжущем с рН = 7,1.

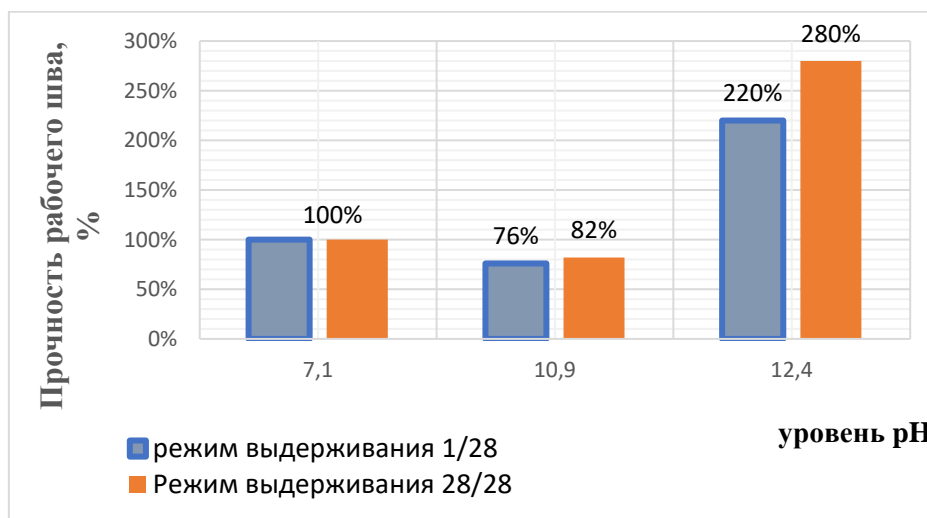


Рисунок 45 – Диаграмма прочности рабочего шва на срез при различном уровне рН затворяющего раствора

Как видно из графика, наибольший прирост прочности рабочего шва на срез наблюдается в случае укладки в качестве нового слоя шлакощелочной смеси с рН затворяющей жидкости 12,4. Это подтверждает сделанный ранее вывод о том, что с увеличением рН шлакощелочного бетона увеличивается прочность его соединения с бетоном на клинкерном вяжущем.

С повышением прочности вновь укладываемого бетона прочность рабочего шва на сжатие также увеличивается.

С повышением уровня рН щелочного компонента в шлакощелочных бетонах активность шлаковых вяжущих возрастает, это свойство было описано в [101] и его можно наблюдать на представленных выше графиках (рисунки 39, 40, 44). Ранее проф. В. Д. Глуховский отмечал зависимость активности шлаковых вяжущих от рН среды: с повышением уровня рН активность возрастает, что находит подтверждение в данных экспериментах. Максимальные значения прочности имеет состав с рН затворяющего раствора 12,4.

Низкие показатели прочности образцов из состава №2 (рН затворяющего раствора 10,9) по сравнению с образцами состава №1 (рН = 7,1) могут быть обусловлены особенностями кинетики набора прочности шлакощелочных бетонов: как известно [101] к 28-м суткам выдерживания в нормальных условиях шлакощелочные бетоны набирают не более 80% прочности.

Для определения уравнения регрессии также воспользуемся методом наименьших квадратов. Так к матрице с переменными  $X_j$  добавляем единичный столбец:

|   |      |    |
|---|------|----|
| 1 | 7,1  | 1  |
| 1 | 7,1  | 28 |
| 1 | 10,9 | 1  |
| 1 | 10,9 | 28 |
| 1 | 12,4 | 1  |
| 1 | 12,4 | 28 |

Матрица Y

|      |
|------|
| 0,21 |
| 0,92 |
| 0,16 |
| 0,76 |
| 0,47 |
| 2,62 |

Матрица  $X^T$ 

|     |     |      |      |      |      |
|-----|-----|------|------|------|------|
| 1   | 1   | 1    | 1    | 1    | 1    |
| 7,1 | 7,1 | 10,9 | 10,9 | 12,4 | 12,4 |
| 1   | 28  | 1    | 28   | 1    | 28   |

Умножаем матрицы ( $X^T X$ )
$$X^T X =$$

|      |        |       |
|------|--------|-------|
| 6    | 60,8   | 87    |
| 60,8 | 645,96 | 881,6 |
| 87   | 881,6  | 2355  |

Умножаем матрицы ( $X^T Y$ )
$$X^T Y =$$

|        |
|--------|
| 5,14   |
| 56,367 |
| 121,24 |

Находим обратную матрицу  $(X^T X)^{-1}$

$$(X^T X)^{-1} = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3,7986 & -0,3394 & -0,01326 \\ \hline -0,3394 & 0,0335 & 0 \\ \hline -0,01326 & 0 & 0,000914 \\ \hline \end{array}$$

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен

$$Y(X) = \begin{array}{|c|c|c|} \hline 3,7986 & -0,3394 & -0,01326 \\ \hline -0,3394 & 0,0335 & 0 \\ \hline -0,01326 & 0 & 0,000914 \\ \hline \end{array} \cdot \begin{array}{|c|} \hline 5,14 \\ \hline 56,367 \\ \hline 121,24 \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline -1,2161 \\ \hline 0,1434 \\ \hline 0,04272 \\ \hline \end{array}$$

Выполненные численные исследования по определению прочности на срез рабочего шва в зависимости от технологических факторов его устройства определяют следующее уравнение множественной регрессии:

$$Y = -1,2161 + 0,1434X_1 + 0,04272X_2, \quad (15)$$

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

Полученные результаты дают основание рекомендовать бетонную смесь на шлаковом вяжущем, затворенную щелочным раствором с высоким уровнем рН для устройства технологических швов бетонирования и замоноличивания стыков в сборно-монолитных конструкциях.

### 3.4 Коррозия арматуры и карбонизация шлакощелочного бетона

Как известно [103], «карбонизация бетона не определяет коррозионное состояние стальной арматуры, однако влияет на изменение показателя рН, определяющего состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре», А.А. Васильевым была определена качественная и количественная зависимость изменения состояния бетона, его защитных свойств по отношению к стальной арматуре от величины карбонизации. Для оценки состояния арматуры, выявляемой после вскрытия защитного слоя бетона, предложена система оценки по степени коррозии, приведенная в таблице 13. В данных исследованиях для

определения показателя щелочности поровой жидкости и установления его связи с коррозионными повреждениями стальной арматуры отбирали пробы бетона железобетонных элементов, эксплуатировавшихся от 10 до 40 лет в основном в атмосферных условиях и условиях сельско-хозяйственных помещений. Было исследовано более 200 проб бетона в зоне расположения стальной арматуры с показателями щелочности поровой жидкости бетона  $pH = 12,40 \dots 8,60$ .

Таблица 13 – Оценка состояния стальной арматуры (по А.А. Васильеву)

| Степень коррозии стальной арматуры | Внешние признаки коррозии арматуры  |
|------------------------------------|---|
| 0                                  | Чистая поверхность  |
| I                                  | Сплошная коррозия до 50% поверхности стержня  |
| II                                 | То же более 50%   |
| III                                | Пластинчатая коррозия малой степени интенсивности (уменьшение площади сечения на величину до 25%) |
| IV                                 | То же средней степени интенсивности (уменьшение площади сечения на 25-50%)                        |
| V                                  | То же высокой степени интенсивности (уменьшение площади сечения стержня более 50%)                |

На основании результатов исследований, для каждой степени коррозии стальной арматуры получили области изменения показателя  $pH$  бетона, находящегося в зоне расположения стальной арматуры (таблица 14). Границы областей были назначены автором на основании результатов опытных исследований.

Таблица 14 – Взаимосвязь степени коррозии арматуры с показателями  $pH$  (по А.А. Васильеву)

| Степень коррозии стальной арматуры | Граничные значения $pH$ |
|------------------------------------|-------------------------|
| 0                                  | $> 11,80$               |
| I                                  | $11,80 - 10,90$         |
| II                                 | $< 10,90 - 10,20$       |
| III                                | $< 10,20 - 9,50$        |
| IV                                 | $< 9,50 - 9,00$         |
| V                                  | $< 9,00$                |

По результатам многолетних исследований состояния стальной арматуры в зависимости от показателя рН защитного слоя в зоне расположения арматуры А.А. Васильевым предложено шесть категорий оценки состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре (таблице 15).

Таблица 15 – Категория состояния защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре» (по А.А. Васильеву)

| Категория состояния защитных свойств бетона | Граничные значения рН | Состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре           |
|---|-----------------------|--|
| 0   | > 11,80               | Бетон полностью сохраняет защитные свойства по отношению к стальной арматуре |
| I   | 11,80 – 10,90         | Начало деградации бетона   |
| II  | < 10,90 – 10,20       | Деградация бетона малой степени интенсивности                                |
| III   | < 10,20 – 9,50        | Деградация бетона средней степени интенсивности                              |
| IV  | < 9,50 – 9,00         | Деградация бетона повышенной степени интенсивности                           |
| V   | < 9,00                | Полная деградация бетона   |

Представленный в третьей главе экспериментальный этап показал, что максимальные значения прочности рабочего шва (по критерию прочности на сжатие, срез и отрыв) имеют образцы с контактной зоной - клинкерный бетон–шлакощелочной бетон с показателем рН затворяющего раствора 12,4. Отметим, что данный уровень рН является оптимальным: согласно исследованиям, представленным в работах В.И. Бабушкина, А.А. Васильева [103, 104], при рН среды больше 11,8 степень коррозии арматурной стали – наименьшая (степень коррозии 0 при возможных вариантах степеней от 0 до V), а состояние защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре – высокое.

В связи с природой шлакощелочных вяжущих водородный показатель у них выше, чем у обычных портландцементных, что придает арматуре достаточную начальную пассивность. Исследования, проведенные Т.М. Петровой, А.В. Полетаевым, Э. Ю. Чистяковым [105] показали высокую коррозионную стойкость стальной арматуры конструкций подрельсовых оснований из шлакощелочного железобетона, находившихся в сложных условиях эксплуатации

железнодорожного пути в течение 30 лет. В работе [106] показано, что шлакощелочные (геополимерные) бетоны обладают «более высокой коррозионной стойкостью в сравнении с портландцементным бетоном при воздействии кислот и сульфатных ионов» и могут быть рекомендованы в качестве более долговечной альтернативы цементного бетона. К преимуществам геополимерного вяжущего относят возможность использования техногенного сырья – многотоннажных промышленных отходов, технология изготовления, основанная на отсутствии высокотемпературного обжига, а также низкие объемы технологических выбросов углекислого газа в атмосферу [107]. По данным, представленным в работах [108, 109] можно заключить: энергоемкость шлакощелочных вяжущих ниже энергоемкости портландцемента аналогичной марки в 1,72 раза.

Также авторами [110] отмечается, что «кислотостойкость геополимерных мелкозернистых бетонов при использовании в качестве активатора гидроксида натрия выше, чем в бетонах с силикатом натрия». Кроме этого «при использовании шлакового цемента в производстве бетона у получающейся структуры цементного камня намного меньше капиллярных пор, чем у бетона на обычном портландцементе. Отличие данного вяжущего от портландцемента заключается в повышенных характеристиках водонепроницаемости и морозостойкости» [111].

### **3.5 Выводы по главе**

1. Выявлены основные закономерности влияния на прочность бетона в зоне контакта «старого» и «нового» бетона технологических факторов: тип бетонной смеси и уровень pH затворяющего раствора, наличие механической обработки контактной поверхности бетонного основания, а также возраст ранее уложенного бетона на момент укладки нового слоя.

2. Физико-химические свойства вновь укладываемого бетона, а именно тип бетонной смеси и уровень pH затворяющего раствора оказывает влияние на качество соединения разновозрастных бетонов по критериям прочности бетона контактной зоны на сжатие, на срез и на отрыв. С повышением уровня pH щелочного компонента в шлакощелочных бетонах активность шлаковых

вяжущих возрастает. Ранее проф. В. Д. Глуховский отмечал зависимость активности шлаковых вяжущих от рН среды: с повышением уровня рН затворяющего раствора активность возрастает, что находит подтверждение в проведенных экспериментах. Максимальные значения прочности рабочего шва наблюдаются при контакте «старого» бетона со шлакощелочной бетонной смесью на основе шлака с модулем основности  $M_o = 1,33$  и с уровнем рН затворяющего раствора равным 12,4.

3. Доказано, что наличие механической обработки поверхности ранее уложенного бетона в случае применения шлакощелочных бетонных смесей в качестве вновь укладываемого бетона не оказывает влияния на прочность рабочего шва на сжатие.

4. Возраст «старого» бетона, как технологический фактор, оказывает влияние на качество соединения разновозрастных бетонов преимущественно по критерию прочности на срез; при оценке по критерию прочности на сжатие данный технологический фактор не показал значительного влияния. По критерию прочности на отрыв данный фактор не рассматривался, так как испытания проводились по стандартной методике, предписывающей 28-суточный возраст бетона-основания.

5. На критерий прочности рабочего шва на сжатие оказывает влияние такой технологический параметр, как прочность вновь укладываемого бетона. С повышением прочности «нового» бетона возрастает и прочность рабочего шва на сжатие.

6. Полученные результаты дают основание предложить новую технологию замоноличивания стыков в железобетонных конструкциях и устройства технологических швов бетонирования с использованием бетонной смеси на шлаковом вяжущем, затворенную щелочным раствором с высоким уровнем рН.

#### **4. МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПРОЧНОСТИ КОНТАКТА БЕТОНОВ ПРИ УСТРОЙСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ШВОВ И СТЫКОВ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ**

В ходе экспериментального этапа, представленного в третьей главе (результаты опубликованы в [112]), было определено, что наибольшее влияние на прочность стыка из исследуемых технологических параметров наблюдается для вновь укладываемых смесей с высоким значением рН. Этому критерию соответствует бетонные смеси на шлаковом вяжущем с модулем основности  $M_o = 1,33$ , затворенные водным раствором гидроксида натрия с рН равным 12,4.

Кроме этого было установлено, что на величину прочности стыков оказывают влияние такие технологические факторы, как прочность затвердевшего бетона, при которой устраивается стык (рабочий шов) и необходимость зачистки его поверхности с целью удаления цементной пленки. При этом, наибольшая прочность стыка наблюдается, когда бетонная смесь на шлаковом вяжущем с высоким рН формуется к бетону, набравшему 28 – ми суточную прочность и перед этим с поверхности контакта не удалялась цементная пленка. Таким образом при разработке технологии устройства рабочего шва с применением бетонов с высоким рН на основе шлакощелочного вяжущего, его устройство необходимо выполнять без удаления цементной пленки в зоне контакта затвердевшего бетона и при его прочности близкой к 28-ми суточной.

Эти данные хорошо согласуются с итогами проведенного ранее эксперимента по влиянию различных технологических факторов на величину проникающей способности в бетон жидкостей с различным уровнем рН [80, 113], которые представлены во второй главе.

Полученные экспериментальным путем результаты [95] указывают на целесообразность использования бетонных смесей на шлаковом вяжущем, затворенных щелочными растворами с высоким уровнем рН для замоноличивания стыков в сборно-монолитных конструкциях и устройства технологических швов бетонирования.

#### **4.1 Основные принципы и последовательность технологии устройства стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций с использованием шлакощелочных бетонных смесей**

Предлагается осуществлять замоноличивание стыков железобетонных конструкций согласно существующей технологии, но с использованием для заполнения пространства между железобетонными конструкциями шлакощелочных бетонных смесей, изготовленных из основных шлаков, затворенных щелочным раствором с высоким уровнем водородного показателя ( $\text{pH} > 12$ ). При этом важно, чтобы класс контактирующих бетонов был идентичным.

Последовательность технологии устройства стыков:

1. Проверка надежности закрепления конструкций согласно проекту.
2. Подготовка стыка к замоноличиванию.
3. Установка опалубки с учётом следующих особенностей. Перед установкой опалубки следует провести без снятия цементной плёнки очистку загрязненных полостей стыков с помощью металлических скребков и щеток с дальнейшей продувкой полостей струей сжатого воздуха или промывкой струей воды, скопление воды после промывки должна быть удалена. Поверхности опалубки, прилегающие к укладываемому бетону, должны покрываться смазкой. Наиболее предпочтительны смазки, содержащие петролатум, стеарин, парафин и другие вещества, устойчивые к воздействию щелочей [114]. Из-за повышенной адгезии шлакощелочного бетона с клинкерными должна быть предусмотрена тщательная очистка (в т.ч. водой) опалубки, инструментов и всех вспомогательных средств, контактирующих с одновременно с клинкерными и шлакощелочными бетонами.

4. Замоноличивание стыков шлакощелочной бетонной смесью. Бетонной смесью заполняют шов и уплотняют. Используется шлакощелочная бетонная смесь на основе шлака с модулем основности  $M_o > 1$ , затворенная щелочным раствором с  $pH > 12$ . Необходимо заранее предусмотреть способ введения щелочного компонента: рекомендуется применять шлакощелочные цементы заводской готовности фасованные.

5. Выдерживание в опалубке бетона стыка.

6. Снятие опалубки и уход за стыком. После снятия опалубки осуществляется уход за стыком, заключающийся в создании благоприятных температурно-влажностных условий.

#### **4.2 Разработка технологии устройства вертикальных технологических швов в монолитных железобетонных конструкциях**

В связи с высокой прочностью стыка между бетонами на клинкерном и шлакощелочным вяжущим технологию устройства рабочего шва бетонирования предлагается осуществлять по аналогии замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций.

Для этого в случае устройства при возведении монолитной железобетонной конструкции рабочего шва, последующее бетонирование выполняют с разрывом от предыдущего участка. Разрыв между участками должен обеспечивать возможность его замоноличивания бетонной смесью по аналогии с технологией устройства стыков сборных железобетонных конструкций. Автором предлагается следующая технология, которая была изложена ранее в опубликованной научной статье [112], как промежуточный результат диссертационного исследования.

Так, в конструкциях, объем которых превышает объем бетонной смеси непрерывно поступающей и укладываемой в конструкцию, возникает необходимость организации рабочего шва (технологического шва бетонирования), вызванной перерывом в бетонировании смежных участков, превышающем срок начала схватывания бетона ранее уложенного слоя (определяется строительной лабораторией в зависимости от вида и характеристик применяемого цемента,

температуры твердения бетона) или по другим производственно-технологическим причинам. В этом случае укладку бетонной смеси следующего участка ведут с разрывом от предыдущего, достаточным для последующей операции виброуплотнения. Бетонирование производится по следующей технологии:

1. На правом и левом участках разрыва конструкции с установленными арматурой и опалубкой происходит фиксация отсечек на расстоянии, достаточным для последующей операции виброуплотнения (в пределах 10–12 см). Отсечками могут служить фанерные полосы с отверстиями под арматуру или плоские арматурные каркасы, применяемые согласно существующей технологии, на которые при помощи вязальной проволоки крепят металлическую сетку с ячейками размером не более 10x10 мм. На рисунке 46 продемонстрирован пример описанного крепления. При этом поверхность рабочих швов должна быть перпендикулярна оси бетонируемых колонн и балок, поверхности плит и стен.

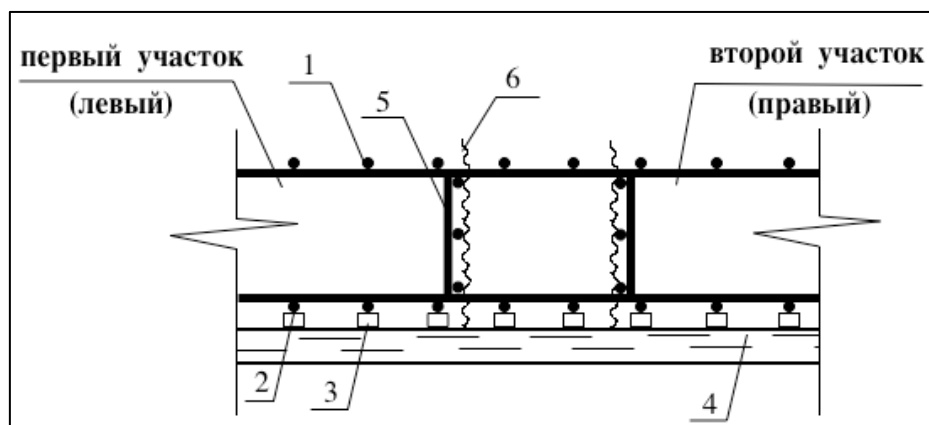


Рисунок 46 – Установка плоских арматурных каркасов и металлической сетки на участках: 1 – верхняя арматура, 2 – нижняя арматура, 3 – пластмассовые фиксаторы, 4 – опалубка; 5 – плоский поддерживающий каркас, 6 – металлическая сетка

2. Ведется укладка бетонной смеси на портландцементе в объем первого участка и последующее уплотнение бетонной смеси (рисунок 47).

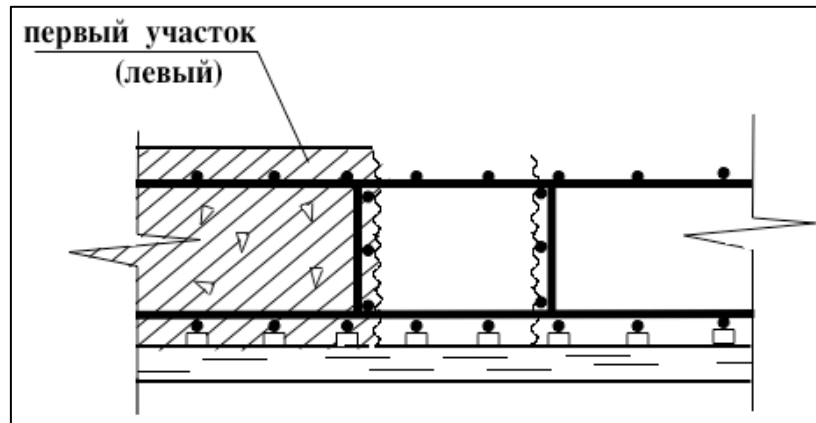


Рисунок 47 – Бетонирование первого участка

3. После перерыва, исходя из производственных условий, производится бетонирование второго участка конструкции бетонной смесью на клинкерном вяжущем с последующим виброуплотнением смеси (рисунок 48).

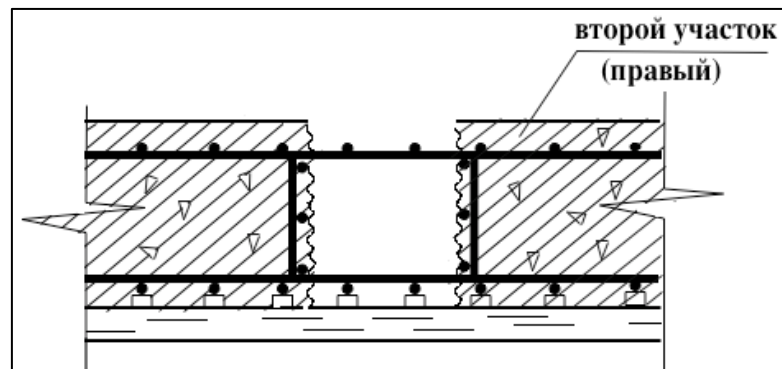


Рисунок 48 – Бетонирование второго участка

4. После набора прочности бетонов двух участков осуществляется подготовка зоны контакта: бетон левого и правого участка 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 (рисунок 49). Результаты, представленные в 3 главе дают основание отказаться от механической подготовки контактной поверхности при применении шлакощелочных смесей с указанными характеристиками. Излишняя влага из свободного пространства удаляется.

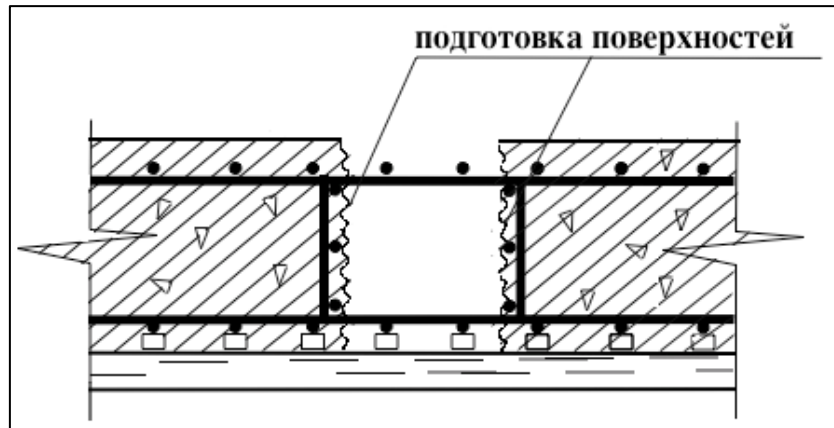


Рисунок 49 – Подготовка (продувка и промывка) контактных поверхностей бетона обоих участков

5. В пространство, образованное между данными участками бетонируемой конструкции, производится укладка шлакощелочной бетонной смеси, на основе шлака с модулем основности  $M_o > 1$ , затворенной щелочным раствором с  $pH > 12$  (рисунок 50). При этом класс шлакощелочного бетона должен соответствовать классу бетона конструкции.

Поверхности контакта опалубки со шлакощелочным бетоном должны быть покрыты смазкой. Толщина укладываемого слоя бетонной смеси не должна быть более 1,25 длины рабочей части глубинного вибратора, а шаг перестановки вибратора не должен превышать 1,5 радиуса его действия. Ко всем видам опалубки для монолитных конструкций из тяжелых шлакощелочных бетонов предъявляются те же требования, что и при изготовлении монолитных конструкций из бетонов на портландцементе или его разновидностях. При применении неметаллической опалубки предварительно в лабораторных условиях следует определять адгезию шлакощелочного бетона к опалубке. После укладки осуществляется уплотнение дозаполненного участка».

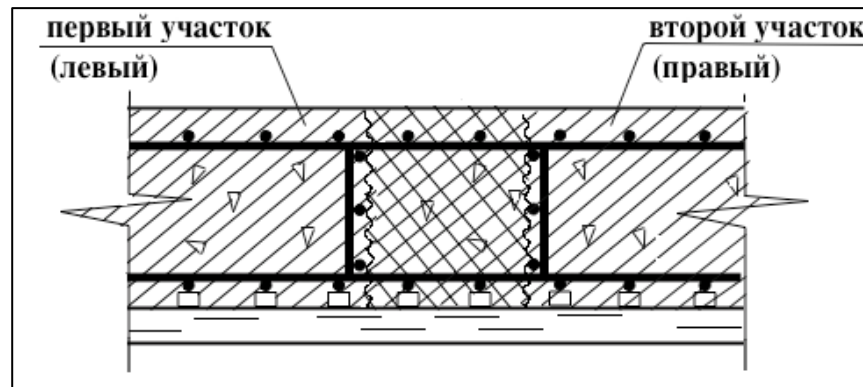


Рисунок 50 – Бетонирование пространства между участками шлакощелочной смесью

6. Уход за бетоном и выдерживание. Уход за бетоном должен обеспечивать создание благоприятного температурно-влажностного режима. С этой целью на поверхности изделий после укладки бетона размещают влагонепроницаемые и влагоемкие покрытия или пленкообразующие составы, стойкие к воздействию щелочей. Уход за шлакощелочными бетонами следует осуществлять до момента приобретения бетоном прочности, указанной в ППР. Движение людей по забетонированным конструкциям и установка на них лесов и опалубки для возведения вышележащих конструкций допускается только после достижения бетоном прочности не менее 1,5 МПа.

Удаление несущей опалубки железобетонных конструкций допускается при достижении проектной прочности бетоном, % (согласно СП 70.13330.2012):

|   |     |
|---|-----|
| плиты и своды пролетом до 2 м.....          | 50  |
| плиты и своды пролетом 2...8 м.....         | 70  |
| несущие конструкции пролетом более 8 м..... | 100 |

Загрузка конструкций полной расчетной нагрузкой допускается после приобретения бетоном проектной прочности. После снятия опалубки мелкие раковины на поверхности бетона можно расчистить проволочными щетками, промыть струей воды под напором и затереть цементным раствором состава 1:2.

Крупные раковины и каверны расчищают на всю глубину с удалением наплывов, затем обрабатывают поверхность проволочными щетками и промывают струей воды под напором, заделывают специальными ремонтными составами или жесткой бетонной смесью и тщательно уплотняют. При исправлении дефектов

бетонирования следует применять СП 349.1325800.2017 «Конструкции бетонные и железобетонные. Правила ремонта и усиления».

#### **4.3. Опытно-производственное исследование предложенной технологии устройства рабочего шва бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях**

С целью уточнения оптимальных технологических параметров разработанных решений организации рабочего шва бетонирования и проверки данной технологии для пролетных железобетонных конструкций, находящихся под действием нагрузок проведены экспериментальные исследования. Здесь и ниже в данной главе приведены методология и результаты, которые были опубликованы ранее в [115], как промежуточный этап диссертационного исследования.

Изготавливались железобетонные балки прямоугольного сечения  $80 \times 160$  (h) и длиной 1400 мм. Образцы армировались плоскими сварными каркасами, которые состояли из продольной рабочей арматуры  $\text{Ø}12\text{A}400$  и поперечной арматуры  $\text{Ø}6\text{A}400$  с переменным шагом: в центральной части балки – 160/180 мм, в приопорных областях – 50 мм.

Серия образцов включала в себя несколько типов:

- Т1 – цельные балки без рабочего шва из бетона класса В25 (состав №1, таблица 16), данный тип образцов был принят в качестве эталонных.
- Т2 - выполнены из клинкерного бетона с рабочим швом посередине конструкции по существующей технологии, а именно, шов выполнялся перпендикулярно основной оси. Доукладка бетонной смеси во вторую половину балки осуществлялась после набора необходимой прочности бетона первого участка - через 3 суток выдерживания в нормальных условиях твердения. В качестве ограничителя использовалась сетка-рабица по ГОСТ 5336 «Сетки стальные плетеные одинарные».
- Т3 и Т4 – осуществлялась разработанная технология устройства рабочих швов бетонирования с применением шлакощелочных бетонов. С этой целью была уложена бетонная смесь в правый и левый участки, отсеченные друг

от друга на расстоянии 8 см. Уплотнение уложенных бетонных смесей осуществлялось штыкованием. Отсечки выполнялись: для типа Т3 – из сетки-рабицы с ячейкой 10x10 мм; для типа Т4 – из неламинированной фанеры.

По прошествии 3 суток выдерживания в нормальных условиях твердения у образцов типа Т4 происходило извлечение ограничителей (фанера) с правого и левого участков, при этом контактная бетонная поверхность этих участков не зачищалась. После чего в образцы типов Т3 и Т4 укладывалась шлакощелочная бетонная смесь - на основном шлаке с  $M_o = 1,33$ , затворенном водным раствором гидроксида натрия с  $pH = 12,4$  (состав №2, таблица 16) по ГОСТ 55064-2012 «Натр едкий технический». Для контроля уровня pH использовался электронный pH-метр «PH-009 II». Уровень pH водных растворов не превышает показателя 12,5, что соответствует нормативному значению [98, 99].

Характеристика гранулированного шлака представлена в приложении 3. Уплотнение бетонной смеси данного участка также осуществлялось штыкованием.

Все серии изготавливаемых образцов выдерживались в нормальных условиях твердения в течение 28 суток, после чего происходила их распалубка.

Таблица 16 – Составы для изготовления экспериментальных образцов

| № состава | Хар-ки затворяющей жидкости |                      |      | R <sub>28</sub> , МПа | Расход на 1 м <sup>3</sup> , 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  | 33,7                  | ПЦ М500 360                     | 850   | 1020           | 7              | 190             |
| 2         | NaOH                        | 1,16                 | 12,4 | 34,3                  | Шлак 425                        | 750   | 1095           | 7              | 170             |

Графики набора прочности контрольных образцов исследуемых составов бетона, выдерживаемых в нормальных условиях, представлены на рисунке 51.

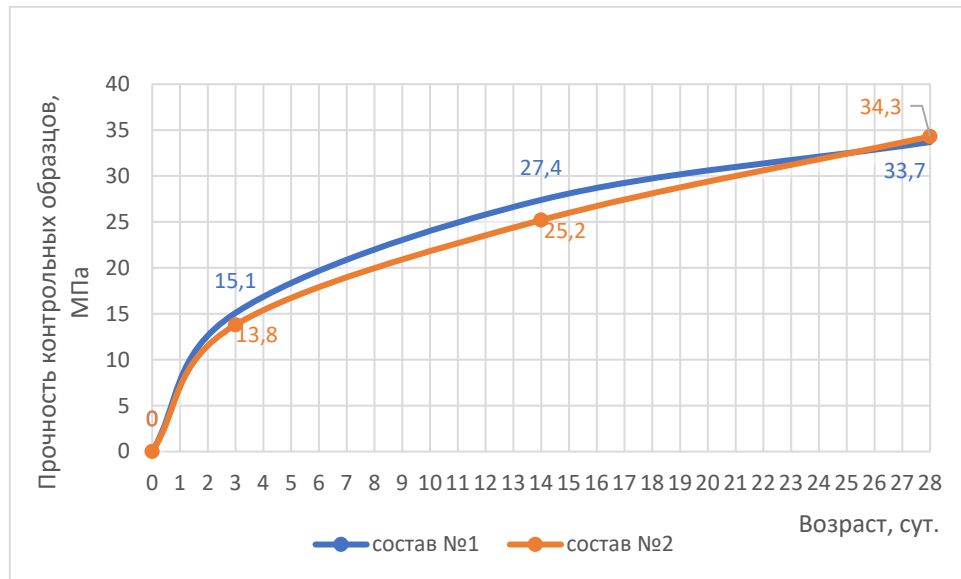


Рисунок 51 – Графики набора прочности бетона различных составов (согласно таблицы 16)

Помимо балок с вертикальным швом, была изготовлена серия образцов с наклонными швами бетонирования. Для этого в формы, описанных выше размеров, укладывалась клинкерная бетонная смесь (состав №1) с правого и левого участков. Границы правого и левого участка характеризовались наклонной поверхностью, тем самым между участками и опалубкой создавалось свободное пространство с формой, близкой к пирамидальной (с основанием 40 см). Через 3 суток происходило дозаполнение свободного пространства бетонной смесью по представленной далее технологии. В образцах типа Т5 – шлакощелочной бетонной смесью (состав №2) с последующим уплотнением штыкованием. В образцах типа Т6 на наклонные поверхности правого и левого участков был нанесен шлакощелочной раствор (в соотношении шлак/щелочной затворитель – 2,5/1). По истечению 40 минут осуществлялась укладка клинкерной бетонной смеси (состав №1) в пределы свободного пространства по нанесенному шлако-щелочному раствору. Готовые образцы представлены на рисунке 52. Также, как и балки с вертикальными швами, данные образцы выдерживались в нормальных условиях твердения 28 суток, после чего извлекались из опалубки. Испытания железобетонных балок выполнялись на стенде, который состоял из основания и

четырёх вертикальных стоек, к которым крепились шарнирные опоры и дополнительный швеллер для установки индикаторов (рисунок 53).



Рисунок 52 – Организация наклонных швов в образцах типа Т6

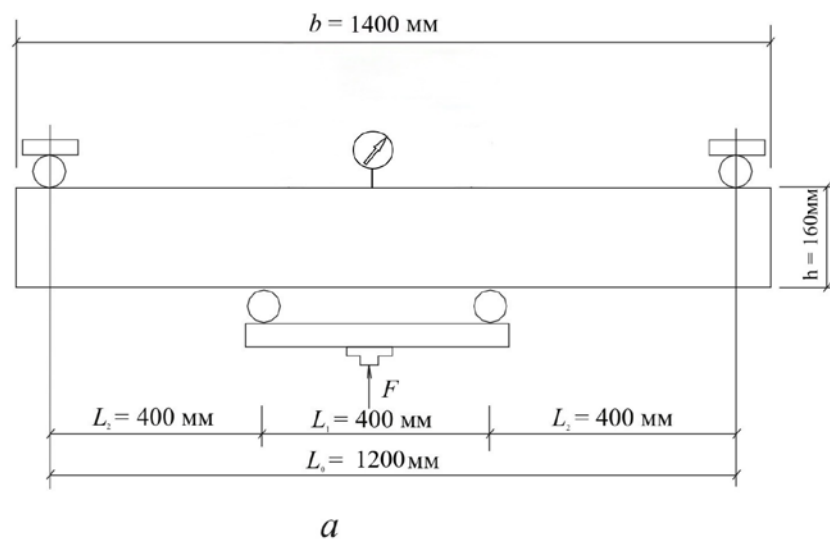


Рисунок 53 – Схема экспериментальной установки

Загрузочное устройство состояло из гидравлического домкрата и траверсы, которые размещались на верхнем поясе сварной станины (рисунки 54, 55). Вертикальные перемещения фиксировались индикаторами часового типа ИЧ-10. Ширина раскрытия трещин измерялась с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05мм. Нагрузка прикладывалась ступенями по 400 кг до полного разрушения образца, фиксировался момент появления трещин, а также ширина их раскрытия и прогибы образцов на каждой ступени загрузки.



Рисунок 54, Рисунок 55 – Экспериментальная установка с образцами: с вертикальным швом и наклонным швом соответственно

Результаты испытания представлены в таблице 17. При оценке результатов однотипных испытаний, явно выпадающие значения были исключены из рассмотрения. Несущую способность определяли по формуле [116]:

$$M_{ult} = M_b + M'_s = R_b b x (h_0 - 0.5x) + R_{sc} A'_s (h_0 - a'), \quad (16)$$

где  $M_b$  и  $M'_s$  - моменты, воспринимаемые соответственно сжатым бетоном и арматурой;

$R_b = 18,5$  МПа,  $R_{sc} = 400$  МПа – призмочная прочность бетона класса В25 и прочность арматуры класса А400 на сжатие;

$b$  и  $h_0$  – фактические ширина и полезная высота сечения;

$a' = 15$  мм - привязка центра тяжести сжатой арматуры к краю сечения,  $A'_s = 28,26$  мм<sup>2</sup> - ее площадь.

Теоретический момент трещинообразования в балке определяется по формулам [116] и составил от 0,7кНм до 0,85кНм, что соответствует начальным этапам нагружения. Теоретически вычисленная жесткость балок  $D$  до трещинообразования составила от 750 до 882кНм<sup>2</sup>, жесткость на последних этапах нагружения – от 167 до 192кНм<sup>2</sup>.

Теоретический прогиб балки можно оценить по формуле:

$$f_{8,8} = \frac{23}{216} l^2 \cdot \frac{M_{8,8}}{D_{8,8}}, \quad (17)$$

где  $l$  – ее пролет,  $M_{8,8} = 8,8$  кНм и  $D_{8,8}$ , кНм<sup>2</sup> – момент в поперечном сечении и его соответствующая жесткость в зоне чистого изгиба на последних этапах нагружения.

Результаты определения прогиба балки при моменте в зоне чистого изгиба равном 8,8кНм приведены в таблице 17. При анализе результатов вычислялись отношения теоретических значений несущей способности и прогибов к опытным  $k_m = M_{оп}/M_{ult}$  и  $k_f = f_{8,8,оп}/f_{8,8}$ , а также отношения полученных таким образом коэффициентов для образцов балок со швами по отношению к монолитным балкам (таблица 17).

Таблица 17 – Основные результаты испытаний

| Тип | № | L,<br>см | h,<br>см | b,<br>см | $k_m$ | Среднее<br>$k_m$ | $k_m$<br>/ $k_{m \text{ моно}}$ | $D_{нач}$ ,<br>кНм <sup>2</sup> | $D_{8,8}$ ,<br>кНм <sup>2</sup> | $f_{8,8}$ ,<br>мм | $f_{8,8,о}$<br>п,<br>мм | $k_f$ | Сред-<br>нее<br>$k_f$ | $k_f$<br>/ $k_{f \text{ моно}}$ |
|-----|---|----------|----------|----------|-------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|-------|-----------------------|---------------------------------|
| Т1  | 1 | 119      | 16,3     | 8,37     | 1,676 | 1,732            | 1,000                           | 833,1                           | 179,1                           | 7,32              | 5,80                    | 1,261 | 1,291                 | 1,000                           |
|     | 2 | 117      | 15,8     | 8,27     | 1,789 |                  |                                 | 758,7                           | 178,2                           | 6,93              | 5,25                    | 1,320 |                       |                                 |
| Т2  | 1 | 120      | 16,5     | 7,93     | 1,590 | 1,546            | 0,892                           | 822,4                           | 182,7                           | 7,39              | 6,36                    | 1,161 | 1,064                 | 0,824                           |
|     | 2 | 116      | 16,3     | 7,77     | 1,502 |                  |                                 | 777,8                           | 174,9                           | 6,85              | 7,09                    | 0,966 |                       |                                 |
| Т3  | 1 | 120      | 16,5     | 8,47     | 1,505 | 1,492            | 0,861                           | 874,0                           | 186,8                           | 7,22              | 6,24                    | 1,157 | 1,142                 | 0,885                           |
|     | 2 | 121      | 16,3     | 7,90     | 1,812 |                  |                                 | 789,8                           | 175,4                           | 7,92              | 6,54                    | 1,211 |                       |                                 |
|     | 3 | 120      | 16,7     | 7,97     | 1,479 |                  |                                 | 856,9                           | 190,1                           | 7,10              | 6,30                    | 1,127 |                       |                                 |
| Т4  | 1 | 121      | 16,4     | 7,66     | 1,749 | 1,752            | 1,012                           | 782,1                           | 176,9                           | 7,85              | 6,68                    | 1,175 | 1,189                 | 0,921                           |
|     | 2 | 120      | 16,7     | 8,00     | 1,911 |                  |                                 | 859,8                           | 190,4                           | 7,09              | 6,37                    | 1,113 |                       |                                 |
|     | 3 | 120      | 16,7     | 8,23     | 1,756 |                  |                                 | 882,6                           | 192,2                           | 7,02              | 5,84                    | 1,202 |                       |                                 |
| Т5  | 1 | 118      | 16,5     | 8,00     | 1,521 | 1,857            | 1,072                           | 829,1                           | 183,5                           | 6,93              | 9,24                    | 0,750 | 1,208                 | 0,936                           |
|     | 2 | 120      | 16,1     | 7,80     | 1,927 |                  |                                 | 752,0                           | 167,9                           | 8,04              | 5,72                    | 1,405 |                       |                                 |
|     | 3 | 120      | 16,5     | 7,93     | 1,787 |                  |                                 | 822,4                           | 182,7                           | 7,39              | 7,30                    | 1,012 |                       |                                 |
| Т6  | 1 | 119      | 16,4     | 8,00     | 1,918 | 1,757            | 1,014                           | 814,0                           | 179,8                           | 7,29              | 5,50                    | 1,325 | 1,200                 | 0,930                           |
|     | 2 | 119      | 16,1     | 7,78     | 1,745 |                  |                                 | 750,2                           | 167,9                           | 7,81              | 6,87                    | 1,136 |                       |                                 |
|     | 3 | 118      | 16,3     | 7,76     | 1,770 |                  |                                 | 776,9                           | 174,6                           | 7,29              | 5,77                    | 1,264 |                       |                                 |

На рисунке 56 приведены результаты сопоставления несущей способности и жесткости балок различного типа по отношению к монолитной.

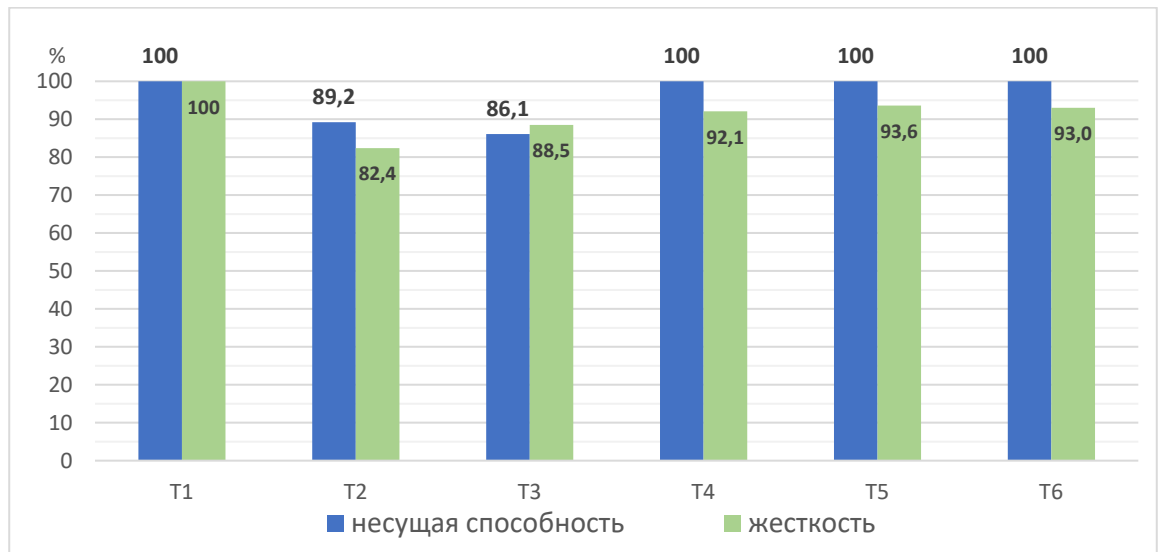


Рисунок 56 – Диаграмма несущей способности и жесткости балок различного типа по отношению к монолитной

Анализируя полученные данные видно, что 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. Принимая за эталон монолитную конструкцию, можно сделать вывод о том, что классический вертикальный шов бетонирования снижает несущую способность примерно на 10%, а жесткость до 17,6%.

Использование гладкого стыка с заполнением шлакощелочным бетоном приводит показатели по прочности и трещиностойкости к монолитному, однако, примерно на 8% снижает жесткость.

Использование сетки-рабицы для устройства стыка со шлакощелочным бетоном снижает эффективность метода. Несущая способность снижается примерно до уровня классического шва, а жесткость на 11,5%, что, тем не менее, эффективнее последнего. Вероятно, это можно связать со снижением адгезии нового бетона к старому, вызванным уменьшением площади их контакта и возможным образованием недоуплотненных участков. Также можно связать это явление со следующим. Кроме этого, при изучении научной статьи, посвященной

исследованию влияния материалов поверхности опалубки на боковое давление бетона [117], можно сделать вывод, что на боковое давление оказывает влияние вязкость пристенного слоя бетона, которая в свою очередь зависит от водоцементного отношения: неувлажненная поверхность фанерной опалубки приводит к снижению водоцементного отношения пристенного слоя бетона по сравнению с металлической опалубкой. Сухая опалубка поглощает свободную воду из пристенного слоя бетона и повышает его прочность.

Наклонные швы. Использование промазки шлакощелочным раствором или участка с заполнением шлакощелочной бетонной смесью фактически приводит работу балки к монолитной, однако незначительно (до 7%) снижает жесткость.

Можно сделать вывод о том, что использование описанной технологии, как в виде нанесения шлакощелочного раствора в виде смазки шва, так и с использованием участка бетонирования из шлакощелочной бетонной смеси, позволяет создать технологический шов равнопрочный монолитному бетону, при рассмотренном угле наклона рабочего шва к нормальному сечению (39-40°). При этом наблюдается меньшее снижение жесткости, по сравнению с классическим швом бетонирования.

В работе [118] приводится заключение о том, что взаимодействие щелочного затворителя и цементной системы приводит к формированию прочного цементного камня в зоне их контакта. Это подтверждает, что 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 и объясняет полученные экспериментальные данные. Кроме того, в проведенных ранее исследованиях проникающей способности различных сред в бетон [80, 113] было отмечено, что наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с высоким уровнем рН.

Принимая это во внимание, в практике строительства рекомендуется увеличивать площадь контакта старого бетона к новому при устройстве рабочего шва согласно предложенной технологии.

#### **4.4. Определение технологических параметров разработанной технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов**

Шлакощелочной бетон давно зарекомендовал себя в практике строительства, разработаны составы, в полной мере изучены его характеристики и свойства [101, 106, 107, 110, 111, 114, 119-126]. Большой объем исследований в области разработки и получения бесклинкерных щелочных цементов и бетонов на их основе выполнен российскими и зарубежными учеными Глуховским В.Д., Давидовичем Д., Кривенко П.В., Руновой Р.Ф., Пушкаревой Е.К., Петровой Т.М., Цыремпиловым А.Д., Баталиным Б.С., Ямалтдиновой Л.Ф., Ростовской Г.С., Скурчинской Ж.В., Чирковой В.В., Ракшой В.А., Тимковичом В.Ю., Пашковым И.А., Гелеверой А.Г., Македоном Н.Л., Гоцом В.И., Мироненко А.В., Муртазаевым С-А.Ю., Сикорским О.Н., Ильиным В.П., Гончаровым Н.Н., Жуковым Р.С., Кононовым В.П., Костенко-Костенчуком В.П., Матвиенко В.А., Мухаметгалеевой С.П., Урхановой Л.А., Рахимовой Н.Р., Рябовым Г.Г., Palacios S., Kmita A., Obata A. и другими.

В работе [119] отмечается, что шлакощелочные бетоны по сравнению с портландцементными способны твердеть как при невысоких положительных (+5 – 0 °С), так и при отрицательных (-5 – -15 °С) температурах. Обладают низким тепловыделением при твердении, что обеспечивает возможность использования его для бетонирования массивных конструкций. В работе С.Б. Коваля [123] также исследована критическая прочность шлакощелочных бетонов, их тепловыделение и твердение при отрицательных температурах.

Технология устройства контакта бетонов разных возрастов будет определяться такими технологическими параметрами, как вид «нового» бетона и его характеристики, возраста «старого» бетона к моменту укладки «нового» и

состояния его контактной поверхности, типа и материала отсечки «старого» бетона, а также способов уплотнения вновь укладываемой бетонной смеси.

#### **4.4.1. Требования к смесям**

Шлак. Используются основные шлаки (шлаки с модулем основности  $> 1$ ). Необходимо проследить тонкость помола – обеспечить высокую удельную поверхность  $S_{уд} = 3000 \div 3500 \text{ см}^2/\text{г}$  [119, 120].

Щелочной компонент. В качестве затворителя рекомендуется использовать щелочной раствор с уровнем водородного показателя  $\text{pH} > 12$  – например, водный раствор гидроксида натрия с плотностью  $\rho = 1,16$  (концентрация 169,7 г NaOH на 1 л. воды).

Вода. Используемая вода должна соответствовать ГОСТ [99].

Заполнители. Заполнители для шлакощелочных бетонов, так же, как и для портландцементных, должны отвечать требованиям государственных стандартов: песок по ГОСТ 8736-2014 [127] и ГОСТ 8267-93 [128].

Последовательность приготовления. Необходимо заранее предусмотреть способ введения щелочного компонента, возможны следующие варианты:

- приготовление водного раствора-затворителя и соединение его со шлаком и заполнителями в необходимой пропорции. Возможно приготовление на бетонно-растворных узлах и в построечных условиях;

- совместный помол шлака и щелочного концентрата, после чего - дозирование и соединение готового вяжущего с заполнителями и водой.

Так как подбор состава шлакощелочной смеси не является целью данной работы, рекомендованный состав был принят на основании обзора специальной литературы, посвященной данному вопросу [101, 119-122, 125, 126].

#### **4.4.2. Определение оптимального возраста «старого» бетона и состояния его контактной поверхности**

В работе [18] говорится, что, изучая вопрос ослабления контактной зоны рабочего шва, в первую очередь приходится сталкиваться с явлением повреждения «старого» бетона. Данные повреждения ранее уложенного бетона «происходят при

непродолжительных перерывах в работе, обычно выдерживающихся в 8-16-24 часа». Приводится ссылка на исследования [124], где описывается причина данного явления: «К этому времени старый бетон не обладает еще достаточной прочностью и в результате повреждения его при обработке уложенного на него нового слоя происходит понижение прочности прилегающего его к стыку бетона».

В работе [129] исследовался классический способ устройства рабочих швов бетонирования и оценивалось влияние возраста бетонного основания и состояния его контактной поверхности на прочность рабочего шва. Утверждается, что «единичные значения критерия прочности шва характеризуются высокой неоднородностью, что свидетельствует о низкой обеспеченности качества шва, независимо от способа и времени обработки поверхности «старого» бетона». Кроме этого, подчеркивается, что «обработка металлической щеткой с ростом возраста «старого» бетона становится менее эффективной и может быть использована только при классе «нового» бетона не ниже В 30 и возрасте «старого» бетона не более 1 сут, а фрезерование обеспечивает критерий прочности шва при классе «нового» бетона В 25 и выше, причем при повышении возраста «старого» бетона от 1 до 3 сут прочность шва снижается». При этом, нормативная литература [2,3] определяет способ очистки бетонного основания от цементной пленки в зависимости от прочности бетона-основания: при очистке механической металлической щеткой – не менее 1,5 МПа; при очистке гидropескоструйной или механической фрезой – 5 МПа.

В 3 главе отмечается, что качество рабочего шва по критерию прочности на срез зависит от возраста «старого» бетона на момент укладки «нового». Так, при экспериментальных исследованиях прочность бетона рабочего шва на срез при увеличении этого возраста с 1 сут до 28 сут возрастала в 4...5 раз - в каждой группе образцов. Это можно объяснить наличием в «старом» бетоне суточного возраста свободной воды, которая препятствует проникновению частиц вновь укладываемого бетона. С другой стороны, увеличение возраста «старого» бетона

для организации его контакта с «новым» влечет за собой увеличение продолжительности устройства всей конструкции и сроков строительства.

Исходя из изложенного, оптимальный возраст ранее уложенного бетона к моменту укладки вновь укладываемого – не менее 1 сут. и не более 3 сут.

#### **4.4.3. Определение типа и материала отсечки при выполнении вертикальных швов бетонирования с использованием шлакощелочных бетонных смесей**

Существует несколько вариантов выполнения отсечки: с помощью деревянных или фанерных реек; по актуальной технологии выполнения рабочего шва бетонирования – с помощью плоских каркасов и металлотканной строительной сетки, крепящейся на данные каркасы. В настоящее время распространен последний вариант. Однако, это решение противоречит указаниям, приведенным в нормативной литературе [2, 3] – в части отсутствия какой-либо механической обработки контактирующей поверхности «старого» бетона по причине невозможности выполнить данное требование. Кроме этого, в работах [19] показано, что при выполнении рабочего шва бетонирования по данной технологии происходит снижение несущей способности пролетных железобетонных конструкций. К такому же выводу можно прийти при анализе результатов апробации предложенной автором данной диссертации технологии.

В исследованиях [117] было обнаружено, что на давление бетонной смеси оказывает влияние «вязкость» пристенного слоя бетона, что в свою очередь зависит от материала опалубки (рисунок 57).

Так сухая опалубка поглощает свободную воду из пристенного слоя бетона, что приводит к увеличению его прочности.

На основании вышеизложенного, рекомендуемый материал отсечки – дерево или фанера сухая.

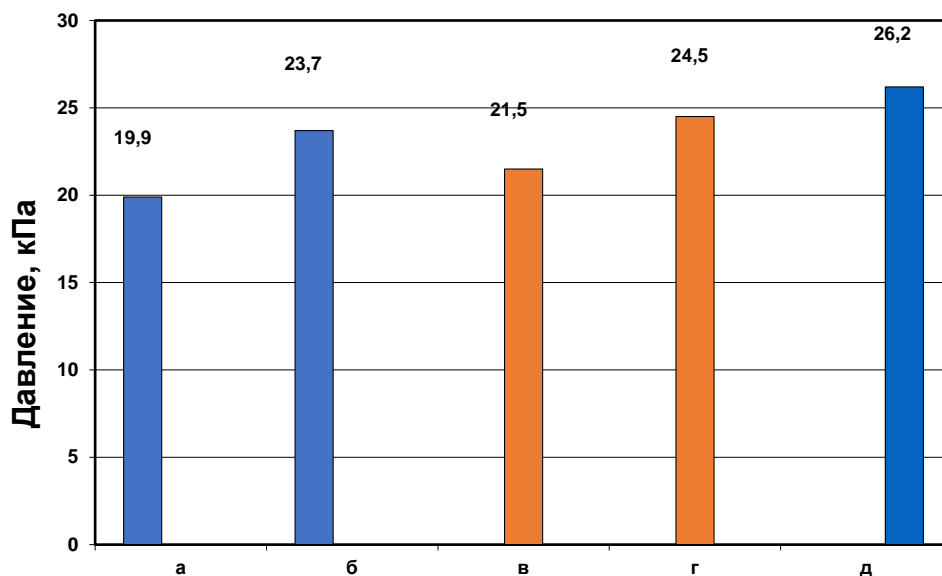


Рисунок 57 – Влияние материала опалубки на боковое давление бетонной смеси: а – сосна; б – сосна влажная; в – фанера; г – фанера влажная; д – сталь

#### 4.4.4. Технология уплотнения

При реализации предложенной автором технологии, организуется участок небольшой ширины – в пределах 10-15 см из шлакощелочного бетона, который необходимо уплотнить. Возможны следующие технологии уплотнения:

- Виброуплотнение - с помощью глубинного вибратора, а также поверхностное с помощью виброрейки (при ограничении по толщине, указанном в нормах СП 70.13330.2012 [2]);
- Вакуумирование сверху с использованием легких съемных щитов и матов.
- В случае, когда диаметр рабочей части глубинного вибратора больше половины ширины участка из шлакощелочной бетонной смеси, возможен комбинированный вариант уплотнения смеси: штыкование на всю глубину стыка, после чего глубинный вибратор укладывается на поверхность смеси горизонтально по шву, однако данный вариант не является оптимальным в виду высокой жесткости шлакощелочного бетона.
- Уплотняющие насадки на перфоратор.

#### **4.5 Контракция при контакте бетонов**

Как известно, твердение бетонов сопровождается изменениями объема твердеющей системы, которые происходят в результате уменьшения объема новообразований относительно суммарного объема вступающих в реакцию веществ, т.е. контракцией. В работе В.Д. Глуховского, В.А. Пахомова, В.В. Жигны [130] рассмотрен вопрос усадочных деформаций шлакощелочных бетонов. Среди основных выводов указывается, что усадка шлакощелочных бетонов зависит от содержания (расхода) шлакощелочного вяжущего, щелочного компонента, условий твердения, хранения и изоляции. Говорится, что «усадка шлакощелочных бетонов приблизительно равна или несколько больше усадки цементных бетонов при прочих одинаковых факторах». Также авторами утверждается, что «в целом относительные усадочные деформации шлакощелочных бетонов находятся в пределах, полученных при исследованиях бетонов на цементных вяжущих».

Кроме этого известно, что использование суперпластификаторов, применяемых в бетонных смесях на портландцементе, практически не дает никакого эффекта в шлакощелочных бетонных смесях. Установлено, что применение противоусадочных химических добавок, способствует снижению усадки шлакощелочного бетона на 85 и 50% при хранении образцов бетона при относительной влажности 99 и 50%, соответственно [131].

#### **4.6 Выводы по главе**

1. Приведены основные принципы и последовательность технологии устройства стыков сборных и сборно-монолитных железобетонных конструкций с использованием шлакощелочных бетонных смесей.

2. Предложена новая технология устройства вертикальных рабочих швов бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях с использованием шлакощелочной бетонной смеси, проведена экспериментальная проверка предложенной технологии на образцах в виде железобетонных балок под действием изгибающих нагрузок. Полученные результаты показывают эффективность применения разработанной автором технологии и дают основание

рекомендовать бетонную смесь на шлаковом вяжущем с модулем основности  $M_o = 1,33$ , затворенную водным раствором гидроксида натрия с  $pH = 12,4$  при организации технологических швов бетонирования в монолитных железобетонных конструкциях

3. Выявлено, что классический вертикальный шов бетонирования снижает несущую способность балок примерно на 10%, а жесткость до 17,6%. Использование гладкого стыка с заполнением шлакощелочным бетоном приводит показатели по прочности и трещиностойкости к монолитному, однако, примерно на 8% снижает жесткость. Использование отсечки в виде сетки-рабицы для устройства стыка со шлакощелочным бетоном снижает эффективность метода. Несущая способность снижается примерно до уровня классического шва, а жесткость на 11,5%, что эффективнее общепринятого варианта.

4. Экспериментальная проверка целесообразности применения шлакощелочных растворов и бетонных смесей для устройства наклонных швов в пролетных конструкциях показала: использование промазки шва шлакощелочным раствором или участка с заполнением разрыва шлакощелочной бетонной смесью фактически приводит работу балки к монолитной (бесшовной), однако незначительно (до 7%) снижая жесткость. Таким образом позволяет создать технологический шов равнопрочный монолитному бетону, при рассмотренном угле наклона рабочего шва к нормальному сечению. При этом наблюдается меньшее снижение жесткости, по сравнению с классическим швом бетонирования.

5. 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.

6. Определены технологические параметры разработанной технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов: требования к смесям, вид и способ введения щелочного компонента, оптимальный возраст «старого» бетона и состояния его контактной поверхности, материал отсечки, технология уплотнения

вновь укладываемой шлакощелочной смеси, рассмотрен вопрос контракции контактирующих бетонов.

## 5. АПРОБАЦИЯ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДЛОЖЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Работа по анализу влияния ряда технологических факторов устройства контакта разновозрастных бетонов, что актуально и в случае замоноличивания стыков, и при устройстве рабочих швов бетонирования (запланированных и незапланированных), осуществлялась в связи с производственным запросом, поступившим из ряда строительных организаций. Среди них не только непосредственно выполняющие производство строительных процессов на стройплощадках и участвующих в организации строительства, но и проектные, ведущие авторский надзор. Эксперименты были выполнены при участии производственной компании «Символ Бетон». Рекомендации по внедрению разработанных технологических решений даны с учетом консультаций, полученных в строительных компаниях ООО «Конструктив» (техзаказчик), ООО Специализированный Застройщик «Голос.Девелопмент», Застройщик ООО «Бетотек-Строй», ООО Специализированный Застройщик «ЧелИнвестСтрой».

#### 5.1 Рекомендации по внедрению

В монографии Б.С. Соколова и Г.П. Никитина подчеркивается, что прочность раствора/бетона стыков оказывает большое влияние на работу стыка [132]. Наряду с этим, на работу стыка также оказывает влияние и прочность соединения бетонов стыка и конструкции, которая в свою очередь зависит от технологических факторов, рассмотренных в главах 2 – 4.

В связи с указанным, предлагается осуществлять замоноличивание стыков железобетонных конструкций согласно существующей технологии, но с использованием для заполнения пространства между железобетонными конструкциями шлакощелочных бетонных смесей, изготовленных из основных шлаков, затворенных щелочным раствором с высоким уровнем водородного показателя ( $\text{pH} > 12$ ). Рекомендуемая технологическая карта на замоноличивание

стыков сборных железобетонных конструкций колонна – ригель представлена в приложении 3. Вопросы технологии замоноличивания железобетонных конструкций в зимнее время освещены рядом ученых [133-137], в данной работе этот аспект не рассматривался.

Между бетонами на клинкерном и шлакощелочном вяжущим наблюдается высокое качество соединения по критериям прочности на сжатие, прочности на сдвиг и прочности на отрыв (глава 3). О значительном влиянии химико-минералогического состава вяжущего вновь укладываемого раствора/бетона на прочность сцепления с бетонным основанием упоминал и профессор Г.В. Несветаев [138]. В связи с этим, устройство рабочего шва бетонирования предлагается осуществлять по аналогии с технологией замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций. Для этого в случае устройства при возведении монолитной железобетонной конструкции рабочего шва, последующее бетонирование выполняют с разрывом от предыдущего участка. Разрыв между участками должен обеспечивать возможность его замоноличивания бетонной смесью (аналогично технологии устройства стыков сборных железобетонных конструкций). Технологическая карта на устройство рабочих швов бетонирования в монолитных железобетонных плитах перекрытия представлена в приложении 4.

Согласно представленным данным в [139], бетонирование фундаментной плиты общим объемом около 1500 м<sup>3</sup> осуществляется в среднем 30 часов. При этом стараются выполнять работы по бетонированию непрерывно. Однако зачастую возникают проблемы технологического или организационного характера для реализации подобных условий, что влечет появление незапланированного шва бетонирования. Требование строгой вертикальности рабочего шва в нормативной литературе [2,3], вероятно, связано с восприятием самого рабочего шва как дефекта [140]. Логично стремление к уменьшению площади этого дефекта. Эксперименты, представленные в четвертой главе дают основание предложить способ решения проблемы вынужденного (наклонного) шва, возникающего вследствие незапланированного перерыва по технологическим или организационным

причинам при бетонировании железобетонных конструкций. Способ устройства монолитной фундаментной плиты с применением промазки из шлакощелочного раствора представлена в приложении 5. Так как в работе [138] посвященной влиянию условий выдерживания на прочность сцепления модифицированных строительных растворов с различными основаниями, в том числе с бетонными, отмечается, что «практически во всех случаях температурные воздействия приводят к снижению прочности сцепления строительного раствора со стандартным бетонным основанием относительно прочности сцепления после выдерживания в НУ (нормальных условиях)», требуется корректировка технологической карты при ведении работ в условиях, отличающихся от нормальных (зимние условия или условия жаркого климата).

В работе [141] подчеркивается, что «развитие и реализация применения технологий сборно-монолитного домостроения являются одним из приоритетных направлений в сфере отечественной стройиндустрии в соответствии со Сводной стратегией развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года». Применение сборно-монолитных каркасных систем позволит увеличить долю индустриального домостроения, что является основной целью, согласно данного документа. В своей работе Ю.Д. Колмакова и Н.И. Фомин [142] указывают, что на данный момент в сборно-монолитном строительстве успешно реализуются пять сборно-монолитных систем, конструктивные и технологические особенности наиболее распространенных из них были проанализированы в первой главе данного диссертационного исследования: «Рекон», «АРКОС», «КУБ». В научной статье [142] отмечается, что «для экономии ресурсов исследователям и инженерам-строителям следует, в первую очередь, предлагать новые конструктивно-технологические решения, обеспечивающие комплексное повышение технологических параметров». Проведенные теоретические и экспериментальные исследования, а также полученные результаты с представленным научным обоснованием, предложенные способы и технологические параметры соединения разновозрастных бетонов,

репрезентированные автором диссертации, могут послужить основой для конструктивно-технологического развития систем сборно-монолитного строительства.

## **5.2. Организационно-технологическая эффективность разработанных решений**

Организация и управление строительным производством должно обеспечивать высокую производительность труда на строительномонтажных работах, сокращение сроков строительства, снижение себестоимости строительномонтажных работ, высокое качество строительных работ.

С целью оценить организационную эффективность предложенных решений, был проведен сравнительный анализ графиков производства работ по устройству монолитной железобетонной плиты перекрытия размерами 35 x 12 м, толщиной 0,2 м: 1) по предложенной автором технологии устройства рабочего шва бетонирования; 2) по технологии устройства рабочего шва бетонирования в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012 [2]. Графики производства работ представлены в таблицах 18, 19.

В качестве показателей организационно-технологической эффективности можно выделить: общую продолжительность основных работ, общую трудоемкость работ, оборачиваемость опалубки, коэффициент неравномерности трудовых ресурсов. Все показатели представлены в таблице 20.

Коэффициент неравномерности трудовых ресурсов, определенный по формуле (18), также показывает организационную эффективность предложенных решений:

$$k_{\text{нер}} = \frac{m_{\text{max}}}{m_{\text{ср}}} , (18)$$

где  $m_{\text{max}}$  – максимальное количество рабочих, занятых в строительном процессе (чел),

$m_{\text{ср}}$  – среднее количество рабочих, занятых в строительном процессе (чел).





Таблица 20 – Показатели организационно-технологической эффективности

| № | Показатель                                    | Предложенная технология | Технология, согласно СП 70.13330.2012 |
|---|---|-------------------------|---------------------------------------|
| 1 | Продолжительность, дни                        | 13                      | 15                                    |
| 2 | Трудоёмкость, чел-ч                           | 456,8                   | 451,9                                 |
| 3 | Максимальное количество рабочих, чел          | 6                       | 6                                     |
| 4 | Среднее количество рабочих, чел               | 4,39                    | 3,76                                  |
| 5 | Коэффициент неравномерности трудовых ресурсов | 1,37                    | 1,6                                   |

Общая трудоемкость работ по классической технологии (в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012) составила 451,9 чел-ч (при гидроструйной обработке контактной поверхности, норма времени в соответствии с ФЕР 46-08-004-02 составляет 0,15 чел-ч на 1 м<sup>2</sup> поверхности). Общая трудоемкость по предложенной технологии составила 456,8 чел-ч. Однако, при ведении работ по предложенной технологии общая продолжительность основных работ сокращается на 2 дня для устройства каждого этажа: продолжительность работ по предложенной технологии – 13 дней, по технологии согласно СП 70.13330.2012 – 15 дней. Таким образом можно добиться сокращения сроков работ при возведении 10-этажного здания на 20 дней, при возведении 16-этажного здания – на 32 дня.

### 5.3. Экономическая эффективность разработанных решений

В рецептуру шлакощелочного бетона входят заполнители – песок и щебень, отпускные цены на них составляют 400 рублей за 1 тонну и 600 рублей за 1 тонну соответственно. Расходы на их доставку приняты в размере 100,00 рублей за 1 тонну. Шлак доменный гранулированный молотый – добавка минеральная активная GreenCems GGBS-450 ТУ 38.32.22-012-99126491-2017 – отход Челябинского металлургического комбината, стоимость составляет 3 000,00 рублей за тонну, при этом транспортные расходы за его доставку составят не более 3% от его стоимости (принято 100 рублей за 1 тонну).

Затворитель шлакощелочной бетонной смеси - водный раствор гидроксида натрия с плотностью  $\rho = 1,16$  (концентрация 169,7 г NaOH на 1 л воды), каустическая сода 1 сорта на основании отпускных цен ОАО «Сода» имеет

стоимость 13000,00 рублей за тонну. Стоимость доставки щелочных компонентов железнодорожным транспортом составит 100,00 рублей за тонну.

Стоимость сырьевых материалов представлена в таблице 21.

Таблица 21 – Стоимость сырьевых материалов

| № | Наименование      | Стоимость за 1т. | Транспортные расходы | Стоимость с учетом перевозки |
|---|-------------------|------------------|----------------------|------------------------------|
|   |                   | руб.             | руб.                 | руб./т                       |
| 1 | Каустическая сода | 13000            | 200                  | 13200                        |
| 2 | Шлак              | 3000             | 100                  | 3100                         |
| 3 | Песок             | 300              | 100                  | 400                          |
| 4 | Щебень            | 500              | 100                  | 600                          |

Стоимость 1м<sup>3</sup> шлакощелочной бетонной смеси предложенного состава и характеристик составляет 2655,31 рублей с учетом транспортных расходов, расчет представлен в таблице 22. Стоимость 1м<sup>3</sup> бетонной смеси на портландцементе В25 составляет 4600 рублей.

Таблица 22 – Стоимость 1м<sup>3</sup> шлакощелочного бетона предложенного состава и характеристик

| №     | Наименование              | Расход на 1м <sup>3</sup> ШЩБ смеси | Стоимость за 1т. с учетом перевозки | Стоимость на 1м <sup>3</sup> ШЩБ смеси |
|-------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|
|       |                           | кг (или л.)                         | руб.                                | руб.                                   |
| 1     | Раствор гидроксида натрия | 170                                 | 13200                               | 380,81                                 |
| 2     | Шлак                      | 425                                 | 3100                                | 1317,50                                |
| 3     | Песок                     | 750                                 | 400                                 | 300,00                                 |
| 4     | Щебень                    | 1095                                | 600                                 | 657,00                                 |
| ИТОГО |                           |                                     |                                     | 2655,31                                |

#### 5.4 Выводы по главе

1. Приведен расчет технико-экономической эффективности устройства рабочих швов бетонирования с использованием шлакощелочных бетонных смесей. В соответствии с приведенными расчетами себестоимость производства бетонной смеси на основе бесклинкерных вяжущих щелочной активации марки 400 на 40% ниже себестоимости бетонной смеси на портландцементе аналогичной марки.

2. Организационно-технологическая эффективность предлагаемых решений представлена оптимизацией графика движения трудовых ресурсов и сокращением общей продолжительности производства основных строительного-монтажных работ по устройству монолитного железобетонного перекрытия на 13%.

3. Осуществлен вклад в решение концепции стратегического развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года, за счет предлагаемых технологических решений с применением бесклинкерных бетонов щелочной активации, более энергоэффективных, при производстве которых используются отходы металлургической промышленности.

4. Решаются проблемы экологического характера, снижается существенная доля выбросов в атмосферу и окружающую среду углекислоты, цементной пыли и др. вредных веществ, снижаются объемы использования природного минерального и энергетического ресурса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены технологические факторы, влияющие на прочность зоны контакта бетонов. Установлена зависимость влагопоглощения бетона от зачистки поверхности контакта от цементной пленки. Однако, в случае контакта с щелочными растворами наличие зачистки бетонной поверхности зоны контакта не влияет на значение влагопоглощения. Влияние на проникновение вновь укладываемых составов в бетон имеет характер расположения плоскости контакта относительно слоев укладки бетонной смеси (параллельно или перпендикулярно), что имеет зависимость от вида конструкции. Установлено воздействие звуковых волн частоты 4 кГц на процесс поглощения бетоном растворов новой среды: благоприятное влияние акустической обработки достигается при параллельном характере расположения слоев «старого» бетона относительно плоскости контакта с новой средой, при перпендикулярном характере расположения слоев происходит снижение поглощения в 3–5 раз. Наиболее значимое влияние оказывает тип и уровень рН новой среды. Наибольшей проникающей способностью обладает щелочной раствор с более высоким уровнем рН, увеличение рН в данном случае происходит за счет увеличения концентрации щелочного компонента в растворе. Наблюдается увеличение влагопоглощения от 1,89 (при зачищенной контактной поверхности) до 4 (незачищенная контактная поверхность) раз по сравнению с нейтральной средой.

2. Экспериментально определены закономерности влияния технологических факторов бетонирования на прочность зоны контакта бетонов после 28 суток твердения в нормальных условиях. Установлена зависимость прочности образовавшегося стыка (рабочего шва) от вида и активности вновь укладываемой бетонной смеси. Повышенную адгезию к бетону-основанию на клинкерном вяжущем проявляют шлакощелочные бетонные смеси. При этом с повышением уровня рН щелочного компонента в шлакощелочных бетонных смесях активность шлаковых вяжущих возрастает. Кроме этого, на величину

прочности стыков оказывают влияние следующие технологические факторы: прочность затвердевшего бетона, при которой устраивается стык (рабочий шов) и наличие механической обработки контактной поверхности бетона-основания (удаление цементной пленки). Наибольшая прочность стыка наблюдается, когда шлакощелочная 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, основанный на производстве работ по аналогии с устройством стыков железобетонных конструкций использовании шлакощелочных бетонных смесей с высоким уровнем водородного показателя затворяющего раствора. Разработаны способы выполнения качественного соединения вновь укладываемой бетонной смеси с ранее уложенной при устройстве монолитных и сборных конструкций с использованием бетонных смесей на шлаковом вяжущем.

4. Проведены модельные лабораторные эксперименты по исследованию работы железобетонных конструкций, выполненных с рабочими швами бетонирования. Исследовано влияние технологических факторов устройства рабочего шва бетонирования на работу железобетонных конструкций под нагрузкой на примере изгибаемых балок: выявлено существенное влияние способа устройства рабочего шва бетонирования – вида используемой бетонной смеси (на клинкерном вяжущем или шлаковом), а также материала ограничителя зоны «старого» бетона при контакте с новым слоем. Выполняемый в настоящее время вертикальный шов бетонирования с использованием сетки-рабицы в качестве отсекающего снижает несущую способность примерно на 10%, а жесткость до 17,6%. Выполнение стыка с заполнением шлакощелочной бетонной смесью и

использования в качестве ограничителя фанеры позволяет сохранить показатели прочности и трещиностойкости на уровне монолитной конструкции, однако, примерно на 8% снижает жесткость. При использовании в качестве отсекающей сетки-рабицы для устройства стыка со шлакощелочной бетонной смесью снижает эффективность метода: несущая способность снижается до уровня классического шва, а жесткость на 11,5% (снижение на 6% меньше относительно классического шва). Определены и научно обоснованы технологические параметры разработанной технологии для устройства контакта разновозрастных бетонов.

5. Разработаны технологические карты на замоноличивание стыков сборных железобетонных конструкций колонна – ригель, а также на устройство монолитных железобетонных плит перекрытия с запланированным рабочим швом бетонирования, не снижающим несущей способности конструкции и ее жесткостных показателей; 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 – предложенных способов повышения прочности контакта бетонов в монолитном строительстве. Сокращается продолжительность производства строительно-монтажных работ по устройству монолитной железобетонной плиты перекрытия на 13%, снижаются затраты на применяемую, согласно разработанной технологии устройства технологических швов, бетонную смесь на 57% по сравнению с технологией в соответствии с требованиями СП 70.13330.2012. Предложенная технология внедрена в деятельность компаний ООО «Символ Бетон», ООО «Конструктив» (техзаказчик). Осуществлен вклад в решение концепции стратегического развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства РФ за счет предлагаемых технологических решений с применением бесклнкерных бетонов щелочной активации, более энергоэффективных, менее материалоемких, при производстве которых используются отходы металлургической промышленности. Решаются

проблемы экологического характера, снижается существенная доля выбросов в атмосферу и окружающую среду углекислоты, цементной пыли и других вредных веществ, снижаются объемы использования природного минерального и энергетического ресурса.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кремнева, Е.Г. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях / Е.Г. Кремнева, Е.В. Хаменюк // Вестник Полоцкого Государственного университета. Серия Ф. Строительство. Прикладные науки. – 2011. - №8. – С.48-52
2. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СнИП 3.03.01-87. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов. - 2012.
3. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ.
4. ГОСТ 22690 – 2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. – М.: Стандартинформ. – 2016.
5. Шпилевская Н.Л., Шведов А.П. Особенности нормативного обеспечения для проектирования организации и производства работ по устройству рабочих швов бетонирования // Архитектурно- строительный комплекс: проблемы, перспективы, инновации : сб. ст. междунар. науч. конф., посвящ. 50-летию Полоцкого государственного университета, Новополоцк, 05–06 апреля 2018 г. Новополоцк, 2018. С. 311–315.
6. Шведов А.П., Шпилевская Н.Л. Разработка организационно-технологической документации на бетонирование массивных фундаментных плит // Вестник Полоцкого государственного университета. 2018. № 8. С. 49–55.
7. Технологическая карта на устройство монолитной железобетонной фундаментной плиты : 7351 ТК. – Введ. 02.02.2002. – М. : ПКТИпромстрой, 2002. – 15 с.
8. Типовая технологическая карта. Бетонирование горизонтально-ориентированных конструкций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dwg.ru/dnl/4693/> - (Дата обращения: 02.12.2020).

9. Рекомендации по подбору составов бетонных смесей для тяжелых и мелкозернистых бетонов. – ФАУ ФЦС. – Москва. – 2019.
10. ГОСТ 27006 – 2019. Бетоны. Правила подбора состава. – М.: Стандартиформ. – 2016.
11. Черноиван В.Н. Монтаж строительных конструкций: учебное пособие / В.Н. Черноиван, С.Н. Леонович. – Минск: БНТУ, 2013. – 154 с.
12. ЕНиР Е4-1. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы: утвержден Госстроем России 05.12.86 г. Сборник Е4: Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1: Здания и промышленные сооружения. – Москва: Стройиздат, 1987. – 64 с.
13. Issa, C.A. The effect of concrete vertical construction joints on the modulus of rupture / C.A. Issa, N.N. Gerges, S. Fawaz // Case Studies in Construction Materials. – 2014. – Vol. 1. – P. 25–32.
14. Мохаммед Джалил Мохаммед Навшад. Исследование напряженно-деформированного состояния монолитных железобетонных плит перекрытий с дефектами: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2004. – 15 с.
15. Gerges N.N., Issa C.A., Fawaz S. The effect of construction joints on the flexural bending capacity of singly reinforced beams // Case Studies in Construction Materials. 2016. Vol. 5. Pp. 112–123. DOI: 10.1016/j.cscm.2016.09.004
16. Gerges N.N., Issa C.A., Fawaz S. Effect of construction joints on the splitting tensile strength of concrete // Case Studies in Construction Materials. 2015. Vol. 3. Pp. 83–91. DOI: 10.1016/j.cscm.2015.07.001
17. Waters, T. A study of the tensile strength of concrete across construction joints / T. Waters // Magazine of Concrete Research – 1954. – P. 151–153.
18. Мирзажонов М.А. Влияние на прочность контактной зоны рабочего стыка времени выдержки нового бетона. / Мирзажонов М.А., Отакулов Б.А. – Фергана, Республика Узбекистан // Конф.: XLIII International Scientific and Practical

Conference «International Scientific Review of The Problems and Prospects of Modern Science and Education». Изд. Problems of Science – 2018. – С. 22-24.

19. Коянкин, А.А. Влияние шва бетонирования на работу конструкции / А.А. Коянкин, В.И. Белецкая, А.И. Гужевская // Вестник МГСУ. Строительство. Архитектура. – 2014. – № 3. – С. 76–80.

20. Технологическая карта на устройство плоских монолитных железобетонных фундаментных плит в зданиях и сооружениях общего назначения при толщине плиты до 1200 мм : ТК 4.01.01.63. – Введ. 01.02.1989. – М. : Промстройпроект Госстроя СССР, 1989. – 14 с.

21. Устройство плоских монолитных железобетонных фундаментных плит в гражданских зданиях : ТК 6306031077/31077. – Введ. 01.03.1991. – М. : Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт организации, механизации и технической помощи строительству. 1991. – 13 с.

22. Gadri, K. Evaluation of bond strength between sand concrete as new repair material and ordinary concrete substrate (The surface roughness effect) / K. Gadri, A. Guettala // Construction and Building Materials. – 2017 – Vol. 157. – P.1133–1144.

23. Effects of interface roughness and interface adhesion on new-to-old concrete bonding / Y. He [et al.] // Construction and Building Materials. – 2017. – Vol.151. – P. 582-590.

24. Silfwerbrand J. Improving concrete bond in repaired bridge decks. / Silfwerbrand J. // Concrete International. – 1990 – Vol. 36 – P. 61–66.

25. Silfwerbrand J. Shear Bond Strength in Repaired Concrete Structures. / Silfwerbrand J. // Materials & Structures. – 2003 – Vol. 36 – P. 419–424.

26. Таркатюк, В.И. Подготовка поверхности старого бетона для соединения с новым механизированным инструментом / В.И. Таркатюк, Н.М. Золотова // Сб. науч. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение». – 2005. – Вып. 35, ч. 3. – С. 13–21.

27. Critchell, P. Joints and cracks in concrete / P. Critchell. – 2nd revised ed. – London, UK: CR Books, 1968. – 244 p.

28. Garbacz, A. Effect of concrete surface treatment on adhesion in repair systems / A. Garbacz, M. Gorka, L. Courard // Magazine of Concrete Research. – 2005 – Vol. 57, No. 1. – P. 49–60
29. Hu, B. Dynamic slant shear bond behavior between new and old concrete / B. Hu, Y. Li, Y. Liu // Construction and Building Materials. – 2020 – Vol. 238. – P.1177–1179.
30. Julio, E.N.B.S. Concrete-to-concrete bond strength: influence of an epoxy-based bonding agent on a roughened substrate surface / E.N.B.S. Julio, E.A.B. Branco, V.D. Silva // Mag. Concr. Res. – 2005 – Vol. 57, №8 – P. 463–468.
31. Santos, D.S. Effect of surface preparation and bonding agent on the concrete-to-concrete interface strength / D.S. Santos, P.M.D. Santos, D. Dias-da-Costa // Constr. Build. Mater. – 2012 – Vol. 37 – P. 102–110.
32. Carlesgibergues, A. New-to-old concrete bonding – influence of sulfates type of new concrete on interface microstructure / A. Carlesgibergues et al. // Cem. Concr. Res. – 1993 – Vol. 23, №2 – P. 431–441.
33. Courard, L. Evaluation of thermodynamic properties of concrete substrates and cement slurries modified with admixtures / L. Courard // Mater. Struct. – 2002 – Vol. 35, №247 – P. 149–155.
34. Hu, C.L. Property investigation of calcium-silicate-hydrate (C-S-H) gel incementitious composites / C.L. Hu et al. // Mater. Charact. – 2014 – Vol. 95 – P. 129–139.
35. Courard, L. Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair / L. Courard, T. Piotrowski, A. Garbacz // Cement & Concrete Composites. – 2014 – Vol. 46. – P.73–80.
36. Muslim, F. Improving bond strength and mass transport properties of spacer-concrete interface with textured spacers / F. Muslim, H.S. Wong, T.K.Q. Chiu, N.R. Buenfeld // Materials and Structures. – 2021. – Vol. 54:191. – P. 1–16 (191). DOI: 10.1617/s11527-021-01782-y.

37. Микульский, В.Г., Игонин Л.А. Сцепление и склеивание бетона в сооружениях. – Москва, Стройиздат, 1965 – 127 с.
38. Михайлов, Н.В. Проблема сцепления «нового» бетона со «старым» и склеивания бетонов в гидротехническом строительстве / Н. В. Михайлов, Н. Б. Урьев // Гидротехническое строительство. – 1981 - №9 – с. 33-36
39. Сидоров, А.В. Исследование качества контакта «старого» и «нового» бетона при замоноличивании стыков железобетонных конструкций / Известия ВУЗов. Строительство и архитектура. – 1974 – №2 – с. 100-105
40. Прыщенко, Ю. И. Влияние статической нагрузки на сцепление бетонных блоков с раствором / Транспортное строительство. – 1956 - №5 – с. 18-20.
41. Feret, R. Resistances des betons a cohésion et décollement comparées a la compression, a la flexion, a la traction. – Paris, 1930.
42. Попов, Н.А. Смешанные растворы для каменной кладки. – Москва, Стройиздат, 1936. – 137 с.
43. Цыбикдоржиев, В. Б. Исследование технологии замоноличивания стыков сборных железобетонных каркасных конструкций в зимних условиях с применением инфракрасного нагрева: Автореф. дисс... канд. техн. Наук, Москва – 1974 – 19 с.
44. Шубина, Т.С. Некоторые вопросы технологии замоноличивания стыков каркасных конструкций в зимних условиях: Автореф. дисс... канд. техн. Наук. – Москва, 1973. – 25 с.
45. Кириллов, А.А. Сцепление свежееуложенного бетона со «старым» бетоном / А.А. Кириллов, Ф.Е. Бергер, Р.Р. Кормилицин, В.К. Синяков // Гидротехническое строительство. – 1978 - №1 – с.28-29.
46. Михайлов, Б.В. Тепловой режим при укладке смеси на неотогретое основание / Б.В. Михайлов, В.И. Лемехов // Бетон и железобетон. – 1969 - №10 – с.431-435.

47. Гребер Г., Эрк С., Григуль У. Основы учения о теплообмене. – Москва, Изд-во иностранной литературы. – 1958 – 568 с.
48. Kolcedancev, L. Grouting of Precast-Monolithic Building Joints with Heated Concrete Mix / L. Kolcedancev, B. Petrakov // World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction). – 2013. – P. 55-59.
49. Мустафин Р.Р. Использование разогретых смесей при замоноличивании стыков сборно-монолитных зданий и бетонировании конструкций в несъемной опалубке: Автореф. дисс... канд. техн. наук, Санкт-Петербург – 2013 – 27 с.
50. Колчеданцев, Л.М. Применение разогретых бетонных смесей для повышения прочности стыка сборно-монолитных зданий / Л.М. Колчеданцев, О.Г. Ступакова, Р.Р. Мутсафин // Строительные материалы. – 2012. - №4 – С.17-19.
51. Утенков В.Ф., Влазова М.А. Заделка стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях. – Москва. Госиздательство литературы по строительству и архитектуре. – 1958. – 62 с.
52. Сизов В.Н. Строительные работы в зимних условиях. – Москва, Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. – 1958 – 539 с.
53. Белова, И.Ф. Кондуктометрические исследования кинетики влагопереноса в бетоне стыка / И.Ф. Белова, В.Я. Гендин, В.Э. Лейрих // Бетон и железобетон. – 1969 - №8 – с.11-13.
54. Лыков А.В. Тепломассобмен (Справочник): 2-е изд., переработ. и доп. – Москва, Энергия, 1978. – 480 с.
55. Заседателев И.Б., Петро-Денисов В.Г. Тепло- и массоперенос в бетоне специальных промышленных сооружений. Москва, Стройиздат, 1973. – 16 с.
56. Тепло- и массобмен. Теплотехнический справочник/ Е.В, Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев и др. Под общей ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – Москва, Энергоиздат, 1982. – 512 с.

57. Cammer J.S. Der Wärme- und Kalteschutz in der Industrie / von J.S. Cammer 4. Aufl., 2. Aufl. / Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1980. – 147p.
58. Хоблер Т. Массопередача и адсорбция. – Л., Химия, 1984. – 479с.
59. Chemical Engineers Hand Book / ed. Perry J.H. – New York: 1980. – 3029 p.
60. Савич Е.Г. Исследование диффузии растворов хлористых солей в цементном камне и бетоне. – Ростов-на-Дону. РИСИ. - 1982 - 20с.
61. Молодин В.В. Замоноличивание стыков сборных железобетонных конструкций в зимних условиях с термообработкой смеси в процессе укладки: Дисс... канд. техн. наук, Новосибирск – 1984 – 251 с.
62. Головнев, С.Г. Сцепление бетона в зоне технологического шва/ С.Г. Головнев, С.Б. Коваль, М.В. Молодцов // Вестник ЮУрГУ. Строительство и Архитектура. Выпуск 3. – 2005. – №13 (53). – С. 71-74.
63. Румянцев, Е.В. Влияние замораживания на прочность сцепления в бетонных швах при зимнем бетонировании / Е.В. Румянцев, В.Г. Соловьев, А.Х. Байбурин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2022. – Т. 22, № 3. – С. 61–70. DOI: 10.14529/build220307
64. Гвоздев, А.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах / А.А. Гвоздев, А.П. Васильев, С.А. Дмитриев. – М.: ОНТИ, 1936. – 57 с.
65. Мустафин, Р.Р. Совершенствование технологии устройства стыков сборно-монолитных конструкций / Р.Р. Мустафин // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 5(34). – С. 134– 137
66. FIB: bulletin No. 101. Precast Concrete in Tall Buildings. State-of-the-art report / The International Federation for Structural Concrete (fib) and Precast / Prestressed Institute (PCI). – Germany, 2021. – 234 p.
67. Фаликман, В.Р. Бетоны заданной функциональности – «Умные бетоны» / В.Р. Фаликман // Материалы конференции ИССХ, Россия. 3–6 декабря 2019. – СПб., 2019. – С. 52–63

68. Заделка стыков сборных железобетонных конструкций в зимнее время. – М.: Стройиздат, 1966. – 65 с.
69. Li, Ch., Experimental Research on Interfacial Bonding Strength between Vertical Cast-In-Situ Joint and Precast Concrete Walls // Ch. Li, Ya. Yang, J. Su, H. Meng, L. Pan, Sh. Zhao // *Crystals*. – 2021. – Vol. 11(494). – Pp. 1–15. DOI: 10.3390/cryst11050494
70. Иванов, Д.А. Влияние миграции влаги на прочность бетона при его укладке на мерзлое бетонное основание / Д.А. Иванов // *Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы VII очной Международной научно-практической конференции*. – Саратов: СарГАУ, 2018. – С. 129–140.
71. Santos, P.M.D. Factors Affecting Bond between New and Old Concrete / P.M.D. Santos, E.N.B. Santos // *ACI Material Journal*. – 2011. – Vol. 108(4). – Pp. 449–456.
72. R. Dharmaraj, G. K. Arunvivek, Alagar Karthick, V. Mohanavel, Bhagavathi Perumal, S. Rajkumar, "Investigation of Mechanical and Durability Properties of Concrete Mixed with Water Exposed to a Magnetic Field", *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, Article ID 2821419, 14 pages, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2821419>
73. B. S. K. Reddy, V. G. Ghorpade, and H. S. Rao, "Influence of magnetic water on strength properties of concrete," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 7, pp. 14–18, 2014.
74. H. Afshin, M. Gholizadeh, and N. Khorshidi, "Improving mechanical properties of high strength concrete by magnetic water technology," *Iranian Journal of Science and Technology Transactions of Civil Engineering*, vol. 17, pp. 74–79, 2010.
75. S. M. Ahmed and D. F. Manar, "Effect of static magnetic field treatment on fresh concrete and water reduction potential," *Case Studies in Construction Materials*, vol. 14, p. e00535, 2021.

76. Горбунов, Н. И. Исследование влияния электролизной воды затворения на процессы гидратации минеральных вяжущих веществ: автореф. дис. ... канд. техн. Наук, Челябинск. - 1970.- 14 с.

77. Юдина, А. Ф. Экспериментальные исследования влияния активированной воды затворения на технологические свойства строительной цементной смеси / А. Ф. Юдина // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 5(101). – С. 259-269.

78. Юдина, А. Ф. Активация компонентов смеси в технологии бетонных работ / А. Ф. Юдина // Вестник гражданских инженеров. – 2004. – № 1. – С. 119-123.

79. Юдина, А. Ф. Ресурсосберегающая технология бетонных работ на основе использования электрообработанной воды затворения : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Юдина Антонина Федоровна. – Санкт-Петербург, 2000. – 295 с.

80. 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 ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – № 1 (20). – 34–45. DOI: 10.14529/build200104.

81. Лайдабон, Ч.С. Поверхностная модификация бетонов высоковязкими составами. Автореф. докт. дисс., 2005, 42 с.

82. Дамдинжапов, Б.Ц. Бетоны, модифицированные с помощью акустического и электромагнитного полей: Автореф. дис. канд. техн. наук. - Улан-Удэ, 2009. — 20 с.

83. Дамдинжапов, Б.Ц. Исследование влияния акустического и электромагнитного полей на скорость пропитки строительных материалов/ Б.Ц. Дамдинжапов, М.Е. Заяханов, Ч.С. Лайдабон, Е.Д. Балханова // Строительный

комплекс России: наука, образование, практика: Материалы международной научно-практической конференции. - 2008. - С.31-35.

84. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учеб. для вузов / Ю.М. Баженов. – Изд. 5-е — М.: АСВ, 2011.— 528 с.

85. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов.— М.: Стройиздат, 1981.— 464 с.

86. Пат. № 96111037/03 Российская Федерация, МПК 6 В 28 В 7/38, Е 04 G 11/22. Способ изготовления конструкций и изделий из бетонных смесей (варианты) / А.Б. Вальт, С.Б. Коваль, В.Н. Кучин; Заявитель и патентообладатель Челяб. гос. техн. ун.-т.; заял. 4.06.96, опубл. 27.11.97, Бюл. № 33. – 6 с.

87. Грабовский, Р.И. Курс физики: учеб.пособие / Р.И. Грабовский. – 12-е изд., стер.— СПб.: Лань, 2012.— 607 с.

88. Ковалев, П.Г. Физика (молекулярная физика, электродинамика) / П. Г. Ковалев, М. Д. Хлиян.— Ростов н/Д.: Изд. Ростовского ун.-та, 1975.— 264 с.

89. Королев, Е.В. Метод анализа кинетики поглощения. Часть 1. Теоретические основы / Е. В. Королев, А. Н. Гришина, М. И. Вдовин, А. И. Альбакасов // Строительные материалы. – 2016. – № 5. – С. 43-47.

90. Физика: пособие в 4 ч. / Т.И. Развина [и др.]; под ред. Т.И. Развиной.— Ч. 4 : Колебания и волны. – Минск : БНТУ, 2014.— 208 с.

91. Транковский, С. Колебания и волны [Электронный ресурс] / С. Транковский // Энциклопедия Кругосвет. Универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия. – Режим доступа: [http://www.krugosvet.ru/enc/nauka\\_i\\_tehnika/fizika/KOLEBANIYA\\_I\\_VOLNI.html?page=0,0](http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/fizika/KOLEBANIYA_I_VOLNI.html?page=0,0). - (Дата обращения: 04.10.2019)

92. Прохоров, А.М. Скорость звука: справочник / А. М. Прохоров и др., под ред.А.М. Прохорова // Физическая энциклопедия.— Т.4.— М.: Советская энциклопедия, 1988.— 704 с.

93. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. – Введ.1997 -01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

94. Официальное интернет-представительство ООО “Ростех”: каталог продукции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosteh.ru/catalog/products/electrodynamic-vibration-test-setup-shakers/66/27/> - (Дата обращения: 04.10.2019).

95. 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

96. 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.

97. Ефимов А.А. Свойства неорганических соединений: справочник / А. И. Ефимов [и др.] – Ленинград: Химия, 1983. – 392 с.

98. Зиневич А. М. Защита трубопроводов и резервуаров от коррозии / А. М. Зиневич, В. И. Глазков, В. Г. Котик. – Москва : Недра, 1975. – 288 с.

99. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия : ГОСТ 23732-2011: Межгосударственный стандарт: введ. в дейст. Приказом Фед. агентства по тех. регулированию и метрологии от 31 мая 2012 г. № 97-ст с 1 октября 2012 г. // Стандартиформ. – Москва, 2019. – Издание официальное.

100. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний: ГОСТ Р 58277 – 2018: Национальный стандарт : введ. в дейст. Приказом Фед. агентства по тех. регулированию и метрологии от 28 декабря 2018 г. № 1187-ст с 1 июля 2019 г. : актуализирован 01.01.2021 // МНТКС. – Москва, 2008. – Издание официальное.

101. Глуховский В. Д. Шлакощелочные цементы и бетоны / В. Д. Глуховский, В. А. Пахомов. – Киев : Будивельник, 1978. – 184 с.

102. Калитуха, В. В. Выбор схемы испытаний составных бетонных конструкций для определения прочности контактного шва / В. В. Калитуха, А. А. Иванов // Электронный сборник трудов молодых специалистов Полоцкого государственного университета / Полоцкий государственный университет ; ред. кол. : Д. Н. Лазовский (пред.) [и др.]

103. Васильев А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263с.

104. Бабушкин В. И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона / В. И. Бабушкин. – Москва : Стройиздат, 1968. – 187 с

105. Петрова Т.М., Полетаев А.В., Чистяков Э.Ю. К вопросу о коррозионной стойкости предварительно напряженной арматуры в транспортных конструкциях после длительной эксплуатации // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 215-219.

106. Ерошкина Н.А., Чамурлиев М.Ю., Коровкин М.О. Сернокислотная коррозия геополимерных бетонов с минеральными добавками на основе отходов // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 3. С. 25.

107. Ерошкина Н.А. Технология и свойства геополимерных материалов строительного назначения: моногр. / Н.А. Ерошкина, С.М. Саденко. - Пенза: ПГУАС, 2019. - 188 с.

108. Жадановский Б.В., Исрафилов К.А., Ахмедов А.К. Прямые и косвенные энергозатраты при производстве бетонных и железобетонных изделий, конструкций и сооружений. — Системные технологии. — 2018. — № 26. — С. 118—121.

109. Корнеева Е. В. Бесцементное вяжущее из техногенных отходов для золошлаковых смесей / Корнеева Е. В., Павленко С. И. // Сухиестроительные смеси. — 2008. - № 2. - С. 54-55.

110. Erdogan, S.T. Properties of ground perlite geopolymer mortars // J. Mater. Civ. Eng. 2015. Vol. 27(7). P. 1-10

111. Руднов В. С., Беляков В. Л. Новые вяжущие материалы из техногенных отходов / Руднов В. С., Беляков В. Л. // Конгресс Техноген – 2017, Научная конференция «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований» – 2017 – С. 82–84.

112. 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.

113. Koval S. B. Analysis of Various Media Concrete Penetrating Ability Depending on Different Factors Affecting Water Absorption / S. B. Koval, M. N. Kagan. – DOI 10.1016/j.proeng.2017.10.557 // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 206. – P. 819–825.

114. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе. – М.: НИИЖБ Госстроя Я СССР, 1986. – с.55.

115. 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.

116. СП 63.13330.2018. Свод правил. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2018. – 138 с.

117. Arslan, M. Effects of formwork surface materials on concrete lateral pressure M. Arslan, O. Şimşek, S. Subaşı // Construction and Building Materials – 2005. – Vol. 19. – P. 319–325.

118. Саламанова, М.Ш. Цементы щелочной активации: возможность снижения энергоемкости получения строительных композитов / М.Ш. Саламанова, С.-А.Ю. Муртазаев // Научно-технический и производственный журнал «Строительные материалы». –2019.–№ 7.– С.32-40

119. Абу Махади Мохаммед Ибрагим, Безбородов Александр Викторович Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования. – 2017. – №2. – 212-218.

120. РД 12.18.077-88 Рекомендации по подбору составов бетонных смесей на шлакощелочных вяжущих для изготовления бетонных и железобетонных конструкций

121. В.Д. Глуховский, А.Г. Алиев, А.А. Волянский, В.А. Пахомов ВП Кривенко и др. «Шлакощелочные вяжущие и мелкозернистые бетоны на их основе», Ташкент, «Узбекистан» 1980.

122. В.Д. Глуховский, П.В. Кравченко и др. «Производство бетонов и конструкций на основе шлакощелочных вяжущих» Киев «Будивельник», 1988.

123. Коваль С.Б. Предварительный электроразогрев шлакощелочных бетонов: Дисс... канд. техн. наук, Челябинск – 1990 – 185 с.

124. Дорофеев В.С. и другие. Начальная поврежденность тяжелого бетона. Сб. Структурообразование, прочность и разрушение композиционных материалов и конструкций. / Материалы международного семинара. Одесса. ОТАСА, 1994. С. 17-18.

125. Ф.Д. Задачин, А.П. Тихомиров «Шлакощелочные вяжущие вещества и бетоны на их основе» СПб, ВИСИ ,1994.

126. Задачин Ф.Д. Шлакощелочные вяжущие и бетоны на их основе/ Санкт-Петербург: СПбАХ, 2022. – 36с.

127. ГОСТ 8736-2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с Поправкой)

128. ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (с Изменениями N 1-4)

129. Несветаев, Г.В. Некоторые технологические параметры устройства рабочих швов при применении самоуплотняющихся бетонных смесей / Г.В. Несветаев, Ю.И. Корянова, Д.П. Сухин // Современные тенденции в строительстве,

градостроительстве и планировке территорий. – 2023. – № 3. – 31–39. DOI: 10.23947/2949-1835-2-3-31-39.

130. Глуховский В.Д., Пахомов В.А., Жигна В.В. Усадка шлакощелочных бетонов /Бетон и железобетон. 1977. - № 12. - С. 17-19.

131. Palacios M., Puertas F. Effect of superplasticizer and shrinkage-reducing admixtures on alkali-activated slag pastes and mortars // Cement and Concrete Research, 2005. V. 35, No. 7.

132. Соколов, Б.С. Прочность горизонтальных стыков железобетонных конструкций: Монография / Б.С. Соколов, Г.П. Никитин. - М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2010. - 104 с.

133. Афанасьев, А.А. Технология омоноличивания стыков при возведении каркасных зданий /А.А. Афанасьев, К.С. Селищев // Вестник МГСУ. - 2010. - № 4. - С. 34-39.

134. Головнев, С.Г. Исследование технологии замоноличивания железобетонных конструкций в зимних условиях с применением генераторов инфракрасных лучей: Автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.23.08 / Головнев Станислав Георгиевич. - М.: 1966. - 10 с.

135. Лунев, Ю.В. Технология зимнего бетонирования фундаментных плит и стыков сборных строительных конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08/ Лунев Юрий Владимирович. - Новосибирск., 2007. - 19 с.

136. Молодин, В.В. Зимнее бетонирование стыков сборных железобетонных конструкций / В. В. Молодин, Ю. В. Лунев Ю.В // Изв. вузов. Стр-во. - 2006. - № 11-12. - С. 44-52.

137. Селищев, К.С. Технология устройства монолитных стыков многоэтажных каркасных зданий при отрицательных температурах: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Селищев Константин Сергеевич. - Москва., 2009. - 181 с.

138. Несветаев Г.В., Осипов В.В. Прочность сцепления с различными основаниями модифицированных строительных растворов в зависимости от условий выдерживания // «Инженерный вестник Дона». –2023.–№ 4.– С.471-489

139. Несветаев, Г.В. О влиянии некоторых технологических факторов на качество бетона монолитных железобетонных конструкций. Г.В. Несветаев, Ю.И. Корянова, А.С. Чепурненко, Д.П. Сухин// «Инженерный вестник Дона». – 2021. - № 11. – С. 367–383.

140. Дейнеко А.В., Курочкина В.А., Яковлева И.Ю., Старостин А.Н. Проектирование железобетонных перекрытий с учетом рабочих швов бетонирования // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 9. С. 1106–1120. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1106-1120

141. Фомин, Н. И. Определение комплексной технологичности сборно-монолитных систем гражданских зданий методом экспертной оценки / Н. И. Фомин, Ю. Д. Колмакова // Строительное производство. – 2024. – № 4. – С. 99-105. – DOI 10.54950/26585340\_2024\_4\_99.

142. Колмакова, Ю. Д. Новые конструктивно-технологические решения для повышения технологической живучести сборно-монолитных систем гражданских зданий / Ю. Д. Колмакова, Н. И. Фомин // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2023. – № 2(57). – С. 88-93. – DOI 10.25628/UNIP.2023.57.2.015.

## ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

**Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, определенном ВАК:**

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.

**Статьи, опубликованных в журналах, индексируемых в международных реферативных базах данных Scopus, Web of Science и др.:**

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).– Pp.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.

**Статьи, опубликованные в других журналах, сборниках и изданиях:**

11. **Вахняк, 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.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1**  
**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ В**  
**ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

| Номер серии | Слой укладки | Обработка поверхности (З – зачищена; Н – не зачищена) | Среда              | Плотность раствора г/см <sup>3</sup> | Прирост массы образца, г | Среднее значение прироста, г | Примечание |
|-------------|--------------|---|--------------------|--------------------------------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| 1           | II           | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018                                | 3<br>2<br>4<br>5         | 3,5                          |            |
| 2           | II           | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067                                | 0<br>2<br>2<br>0         | 1                            |            |
| 3           | II           | З   | H <sub>2</sub> O   | 0,998                                | 1<br>3<br>4<br>3         | 3                            |            |
| 4           | II           | З   | NaCl               | 1,148                                | 5<br>6<br>6<br>7         | 6                            |            |
| 5           | II           | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008                                | 2<br>2<br>4<br>4         | 3                            |            |
| 6           | II           | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055                                | 6<br>6<br>8<br>8         | 7                            |            |
| 7           | II           | Н   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018                                | 10<br>7<br>8<br>7        | 8                            |            |
| 8           | II           | Н   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067                                | 8<br>10<br>13<br>11      | 10,5                         |            |
| 9           | II           | Н   | H <sub>2</sub> O   | 0,998                                | 20<br>12<br>18<br>14     | 16                           |            |
| 10          | II           | Н   | NaCl               | 1,148                                | 8<br>14<br>10<br>12      | 11                           |            |

| Номер серии | Слой укладки | Обработка поверхности (З – зачищена; Н – не зачищена) | Среда              | Плотность раствора | Прирост массы образца, г | Среднее значение прироста, г | Примечание |
|-------------|--------------|---|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| 11          | II           | Н   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008              | 7<br>6<br>8<br>5         | 6,5                          |            |
| 12          | II           | Н   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055              | 12<br>6<br>10<br>8       | 9                            |            |
| 13          | L            | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018              | 10<br>9<br>12<br>7       | 9,5                          |            |
| 14          | L            | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067              | 4<br>2<br>3<br>3         | 3                            |            |
| 15          | L            | З   | H <sub>2</sub> O   | 0,998              | 10<br>6<br>8<br>8        | 8                            |            |
| 16          | L            | З   | NaCl               | 1,148              | 7<br>11<br>10<br>10      | 9,5                          |            |
| 17          | L            | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008              | 4<br>6<br>5<br>5         | 5                            |            |
| 18          | L            | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055              | 18<br>16<br>18<br>20     | 18                           |            |
| 19          | L            | Н   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018              | 4<br>4<br>3<br>5         | 4                            |            |
| 20          | L            | Н   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067              | 4<br>4<br>4<br>4         | 4                            |            |

| Номер серии | Слой уклад-ки | Обработка поверхности (З – зачищена; Н – не зачищена) | Среда              | Плотность раствора | Прирост массы образца, г | Среднее значение прироста, г | Примечание |
|-------------|---------------|---|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------------------|------------|
| 21          | Л             | Н   | H <sub>2</sub> O   | 0,998              | 4<br>5<br>5<br>4         | 4,5                          |            |
| 22          | Л             | Н   | NaCl               | 1,148              | 2<br>2<br>3<br>1         | 2                            |            |
| 23          | Л             | Н   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008              | 12<br>7<br>8<br>9        | 9                            |            |
| 24          | Л             | Н   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055              | 18<br>16<br>19<br>20     | 18                           |            |
| 25          | П             | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018              | 7<br>4<br>5<br>4         | 5                            | акустика   |
| 26          | П             | З   | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067              | 2<br>2<br>3<br>2         | 2                            | акустика   |
| 27          | П             | З   | H <sub>2</sub> O   | 0,998              | 2<br>0<br>2<br>2         | 2                            | акустика   |
| 28          | П             | З   | NaCl               | 1,148              | 10<br>7<br>7<br>8        | 8                            | акустика   |
| 29          | П             | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008              | 4<br>2<br>2<br>1         | 2                            | акустика   |
| 30          | П             | З   | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055              | 10<br>12<br>9<br>9       | 10                           | акустика   |

| Но-мер<br>серии | Слой<br>уклад<br>-ки | Обработка<br>поверхности<br>(З – зачищена;<br>Н – не зачищена) | Среда              | Плот-<br>ность<br>раствора | Прирост<br>массы<br>образца, г | Среднее<br>значение<br>прироста,<br>г | Примеча-<br>ние |
|-----------------|----------------------|--|--------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 31              | Л                    | З  | MgSO <sub>4</sub>  | 1,018                      | 2<br>2<br>2<br>1               | 2                                     | акустика        |
| 32              | Л                    | З  | MgSO <sub>4</sub>  | 1,067                      | 4<br>0<br>3<br>2               | 2                                     | акустика        |
| 33              | Л                    | З  | H <sub>2</sub> O   | 0,998                      | 3<br>2<br>2<br>1               | 2                                     | акустика        |
| 34              | Л                    | З  | NaCl               | 1,148                      | 4<br>3<br>1<br>2               | 2                                     | акустика        |
| 35              | Л                    | З  | NaHCO <sub>3</sub> | 1,008                      | 6<br>4<br>4<br>3               | 4                                     | акустика        |
| 36              | Л                    | З  | NaHCO <sub>3</sub> | 1,055                      | 8<br>5<br>7<br>5               | 6                                     | акустика        |

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2**  
**ХАРАКТЕРИСТИКА ГРАНУЛИРОВАННОГО ШЛАКА**



Мечел-Материалы

Лаборатория ООО «Мечел-Материалы»

Свидетельство № 33 действительно до 25.12.2020

Адрес: 454047 Челябинск, ул. 2-я Павельевская, 14

Телефон 8 (351) 725-25-88

ДОКУМЕНТ О КАЧЕСТВЕ № 28

Добавка минеральная активная GreenCems® GGBS-450

(шлак доменный гранулированный молотый)

ТУ 38.32.22-012-99126491-2017

Дата отгрузки 11.01.2019г. № партии 18

Грузополучатель \_\_\_\_\_

№ авто 02460х184

|  | Норматив      | Среднее фактически |
|--|---------------|--------------------|
| Тонкость помола (проход через сито № 0045), %                      | Не менее 98,0 | 99,9               |
| Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг.                          | Не менее 480  | 523                |
| Влажность, %   | Не более 0,5  | 0,13               |
| Содержание хлорид-иона (Cl <sup>-</sup> ), %                       | Не более 0,1  | 0,017              |
| Содержание оксида серы (VI) SO <sub>3</sub> , %                    | Не более 2,5  | 1,57               |
| Щелочные оксиды (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O), %       | Не более 1,0  | 0,55               |
| Потери при прокаливании, %   | Не более 3,0  | 3,0                |
| Массовая доля содержания оксида магния (MgO), %                    | Не более 18,0 | 13,17              |
| Массовая доля содержания (CaO+MgO+SiO <sub>2</sub> ), %            | Не менее 67,0 | 77,90              |
| Отношения массовых долей (CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> )             | Не менее 1,0  | 1,43               |
| Содержание стекловидной фазы, %                                    | Не менее 70,0 | 83,0               |
| Прочность на сжатие в возрасте 28сут., МПа                         | Не менее 8,0  | 12,9               |
| Начало схватывания, мин.   | Не ранее 150  | 200                |
| Равномерность изменения объема, мм.                                | Не более 10   | 0                  |
| Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг. | Менее 370     | 133,7              |

Разрешено к применению в качестве строительного материала без ограничения.

Применяется для изготовления товарного бетона, для всех видов раствора (в том числе для яловых стяжек), в домном строительстве, а также для изготовления бетонных и железобетонных, сборных или монолитных конструкций и элементов; при отсутствии повышенных требований к динамике набора прочности (в ранние сроки твердения).

Качество соответствует требованиям технического условия на момент получения продукции потребителем, но не более 120-ти суток после отгрузки.

Знак контроля \_\_\_\_\_

Для сертификатов качества

ФИО

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3**  
**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА НА ЗАМОНОЛИЧИВАНИЕ СТЫКОВ**  
**«КОЛОННА-РИГЕЛЬ»**

## 1. Общие положения

1.1. Данная технологическая карта разработана кафедрой «Строительное производство и теория сооружений» на основе материалов и оборудования Производственной компании «Символ Бетон».

1.1 Техкарта разработана на основе нормативных документов СП 48.13330.2019 [1], СП 70.13330.2012 [2], СНиП 12-03-2001 [3], СНиП 12-04-2002 [4], МДС 12-29.2006 [5].

1.2 При её использовании необходимо вносить местные корректировки.

1.3 Для заделки стыков в качестве шлакощелочного вяжущего используется шлак доменный гранулированный молотый Челябинского металлургического комбината (группа «Мечел»).

## 2. Область применения

2.1. Технологическая карта разработана на устройство стыков между сборными железобетонными конструкциями каркаса многоэтажных зданий путём их замоноличивания бетонной смесью на основе шлакощелочного вяжущего.

2.2. Технологическая карта разработана на устройство стыков бетонной смесью на основе шлакощелочного вяжущего с водородным показателем затворяющего раствора  $pH = 12,4$  при монтаже сборных железобетонных каркасов промышленных и гражданских зданий в процессе их возведения.

2.3. Технологическая карта распространяется на стыки между ригелями и колоннами сплошного сечения с размерами 400 x 400 мм; 400 x 600 мм.

## 3. Технологическая последовательность выполнения работ по устройству стыков ригеля с колонной при применении бетонов на основе шлакощелочного вяжущего

3.1 До начала замоноличивания стыков должны быть выполнены следующие работы:

1. Завершен монтаж колонны. Выполнено замоноличивание стыков до 70% от  $R_{28}$ . Закончен монтаж ригелей и плит покрытия и выполнена сварка арматуры и закладных частей по проекту.

2. Поверхность стыкуемых элементов очищена от мусора.

3. В зону производства работ доставлены инструменты и инвентарь, необходимые для производства работ.

3.2 Перед установкой опалубки следует провести очистку загрязненных полостей стыков с помощью металлических скребков и щеток с дальнейшей продувкой полостей струей сжатого воздуха или промывкой струей воды, скопление воды после промывки и посторонние предметы должны быть удалены. Поверхности опалубки, прилегающие к укладываемому бетону, должны

покрываться смазкой. Наиболее предпочтительны смазки, содержащие петролатум, стеарин, парафин и другие вещества, устойчивые к воздействию щелочей [6]. Из-за повышенной адгезии шлакощелочного бетона с клинкерными должна быть предусмотрена тщательная очистка (в т.ч. водой) опалубки, инструментов и всех вспомогательных средств, контактирующих с бетоном.

3.3 Бетонная смесь для заделки стыков должна быть подготовлена одним из следующих способов:

- централизованным на растворо-бетонном узле (РБУ), доставка осуществляется автобетоносмесителями (АБС);
- на строительной площадке из сухих шлакощелочных бетонных смесей, фасованных в заводских условиях.

3.4 Приготовленный объем бетонной смеси для заделки стыков должен быть израсходован не позднее, чем 1,5 часа после ее приготовления.

3.5 При поступлении бетонной смеси на строительную площадку от РБУ, она принимается из АБС в расходный бункер и подается в зону бетонирования.

Таблица 1

Состав бетона В25 на основе шлакощелочного вяжущего

| Материалы   | Расход материалов в кг на 1м <sup>3</sup> |
|---|---|
| Шлак доменный гранулированный молотый Челябинского металлургического комбината (группа «Мечел») | 425                                       |
| Песок белоярский по ГОСТ 8736-2014  | 750                                       |
| Щебень ГОСТ 26633-2012  | 1095                                      |
| Водный раствор NaOH $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$  | 170                                       |
| Добавка пластифицирующая  | 7   |

3.6 При изготовлении водного раствора гидроксида натрия необходимо ориентироваться на корреляцию плотности и концентрации раствора (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение плотности и концентрации раствора NaOH

| Плотность раствора $\rho$ | Содержание NaOH в 1л раствора | Концентрация раствора |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| г/см <sup>3</sup>         | г                             | %                     |

|      |       |       |
|------|-------|-------|
| 1,16 | 169,7 | 14,63 |
|------|-------|-------|

*Примечание.* Ориентировочная величина температурного коэффициента плотности водных растворов NaOH составляет  $0,001 \text{ г/см}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

3.7 К заделке стыка необходимо приступать только после очистки его от мусора и грязи путем продувки струёй сжатого воздуха.

3.8 Замоноличивание стыков производится после монтажа конструкций по всему ярусу в пределах захватки с следующей последовательности: в первую смену – установка опалубки, во вторую – бетонирование стыков.

3.9 Бетонная смесь укладывается в стык с последующим послойным уплотнением. Уплотнение бетонной смеси производится до появления следующих признаков: прекращение осадки бетонной смеси и выделения пузырьков воздуха, появление цементного молочка на поверхности бетона. После окончания уплотнения поверхность заглаживается и покрывается слоем полимерной пленки.

3.10 В соответствии с ЕНиР [7] работа по замоноличиванию стыков производится звеном в составе:

Плотник 4 разряда – 1 чел.

Плотник 3 разряда – 1 чел.

Монтажник конструкций 4 разряда – 1 чел.

Монтажник конструкций 3 разряда – 1 чел.

3.11 Пример калькуляции трудовых затрат на многоэтажное промздание 36 x 72 м приведена в табл. 3.

3.12 Рекомендуемый график выполнения работ приводится в табл. 4.

3.13 Рациональные методы организации труда рабочих по устройству и демонтажу опалубки, а также инструмент, инвентарь и прочее оборудование принимать в соответствии с типовыми картами трудовых процессов строительного производства.

3.14 Операционный контроль качества работ по заделке стыков железобетонных конструкций выполняется в соответствии с требованиями главы СП [2] по организации строительного процесса. Схема операционного контроля качества работ приведена в табл. 5.

## Калькуляция трудовых затрат

| №     | Наименование работ   | Обоснование             | Ед. изм. | Объем работ | Норма времени, чел-ч | Затраты труда на весь объем, чел-ч | Расценка, руб-коп | Стоимость затрат труда на весь объем, руб-коп |
|-------|----------------------|-------------------------|----------|-------------|----------------------|------------------------------------|-------------------|---|
| 1     | Устройство опалубки  | ЕНиР 4-1-25 табл.2, п.1 | узел     | 22          | 0,64                 | 14,08                              | 0-47,7            | 10-49,4                                       |
| 2     | Устройство опалубки  | -//- п.2                | узел     | 44          | 1                    | 44                                 | 0-74,5            | 32-78   |
| 3     | Бетонирование стыков | -//- п.5                | узел     | 22          | 0,97                 | 21,34                              | 0-72,3            | 15-90,6                                       |
| 4     | Бетонирование стыков | -//- п.6                | узел     | 44          | 1,2                  | 52,8                               | 0-89,4            | 39-33,6                                       |
| 5     | Разборка опалубки    | -//- п.3                | узел     | 22          | 0,34                 | 7,48                               | 0-25,3            | 5-56,6  |
| 6     | Разборка опалубки    | -//- п.4                | узел     | 44          | 0,44                 | 19,36                              | 0-32,8            | 14-43,2                                       |
| ИТОГО |                      |                         |          |             |                      | 159,06                             |                   | 118-51,4                                      |



Схема операционного контроля качества

| Наименование операций      |                   | Контроль качества выполнения  |           |                           |                          |
|----------------------------|-------------------|---|-----------|---------------------------|--------------------------|
| прорабом                   | мастером          | состав  | способы   | время                     | привлекаемые службы      |
| 1. Подготовительные работы | -                 | Очистка стыков от мусора  | Визуально | До начала замоноличивания | -                        |
| 2. Замоноличивание         | -                 | Тщательность замоноличивания  | Визуально | В процессе заделки        | -                        |
|                            | 1.Замоноличивание | Класс и консистенция бетонной смеси. Тщательность уплотнения. Укрыт. поверхностей | Визуально | В процессе заделки        | Строительная лаборатория |

4. Техничко-экономические показатели

Таблица 6

Затраты труда на замоноличивание стыков

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| на все здание                | 159,06 чел-ч |
| на 1 стык колонна-ригель     | 1,95 чел-ч   |
| на 1 стык колонна-два ригеля | 2,64 чел-ч   |

5. Материально-технические ресурсы

5.1. Потребность в материалах приводится в табл. 7.

Таблица 7

Потребность в материалах

| Наименование  | Класс | Ед.изм.        | Кол-во |
|---|-------|----------------|--------|
| Шлакощелочная бетонная смесь для заделки стыков с требуемыми характеристиками | 25    | м <sup>3</sup> | 4,169  |
| Пиломатериал для устройства опалубки  | -     | м <sup>3</sup> | 1,2    |

4.2. Потребность в оборудовании, инструменте, инвентаре и приспособлениях приводится в табл. 8.

## Потребность в оборудовании, инструменте и приспособлениях

| Наименование            | Тип | Кол-во | Техническая характеристика |
|-------------------------|-----|--------|----------------------------|
| Метр стальной, складной | -   | 1      |                            |
| Лопата                  | -   | 2      |                            |
| Кельма                  | -   | 2      |                            |
| Ковш                    | -   | 2      |                            |
| Молоток слесарный       | -   | 2      |                            |
| Рулетка стальная        | -   | 1      | ВС-10                      |

## Список литературы:

1. СП 48.13330.2019 Организация строительства
2. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции
3. СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Общие требования
4. СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Строительное производство
5. МДС 12-29.2006 Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты
6. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986. – с.55.
7. ЕНиР Е4-1. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы: утвержден Госстроем России 05.12.86 г. Сборник Е4: Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1: Здания и промышленные сооружения. – М.: Стройиздат, 1987. – 64 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 4**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА НА УСТРОЙСТВО**  
**ЗАПЛАНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ШВА БЕТОНИРОВАНИЯ В**  
**ПЛИТЕ ПЕРЕКРЫТИЯ**

## 1. Общие положения

1.1 Данная технологическая карта разработана кафедрой «Строительное производство и теория сооружений» на основе материалов и оборудования Производственной компании «Символ Бетон».

1.2 Техкарта разработана на основе документов СП 48.13330.2019 [1], СП 70.13330.2012 [2], СНиП 12-03-2001 [3], СНиП 12-04-2002 [4], МДС 12-29.2006 [5]. При её использовании необходимо вносить местные корректировки.

1.3 Для устройства швов в качестве шлакощелочного вяжущего используется шлак доменный гранулированный молотый Челябинского металлургического комбината (группа «Мечел»).

## 2. Область применения

2.1 Технологическая карта разработана на устройство технологических швов бетонирования в монолитных железобетонных плитах перекрытий по аналогии с технологией замоноличивания стыков сборных железобетонных конструкций с применением бетонной смеси на основе шлакощелочного вяжущего.

2.2 Технологическая карта разработана на устройство технологических швов бетонирования с использованием бетонной смеси на основе шлакощелочного вяжущего с водородным показателем затворяющего раствора  $pH = 12,4$  в процессе возведения промышленных и гражданских зданий.

2.3 Технологическая карта распространяется на монолитные плиты перекрытия высотой 160, 180 и 200 мм.

3. Технологическая последовательность выполнения работ по устройству рабочих швов бетонирования плит перекрытия при применении бетонов на основе шлакощелочного вяжущего.

3.1 На правом и левом участках с установленными арматурой и опалубкой происходит фиксация отсечек на всю высоту плиты на расстоянии, достаточном для последующей операции виброуплотнения (в пределах 10–12 см). В качестве отсечек рекомендуются рейки из деревянных досок или фанерных полос с отверстиями под арматуру. На рис.1 продемонстрирован пример описанного крепления. При этом поверхность рабочих швов должна быть перпендикулярна оси бетонируемых колонн и балок, поверхности плит и стен.

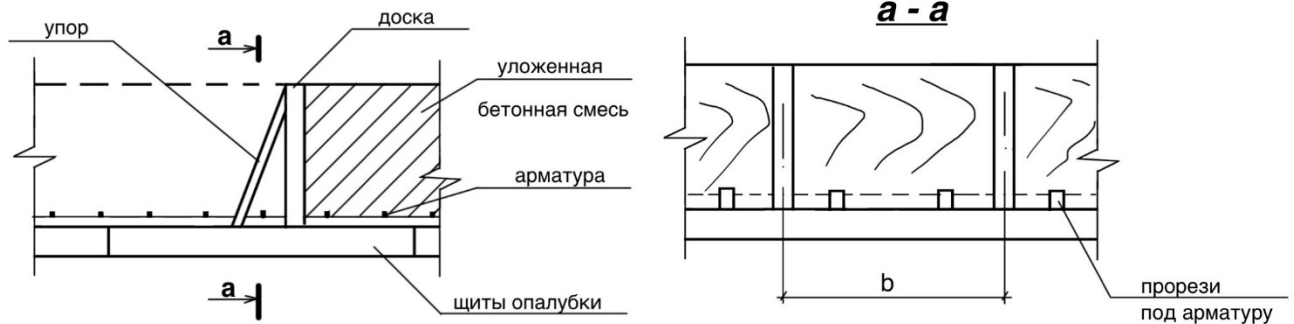


Рисунок 1. Установка отсечек в виде реек

3.2 Ведется укладка бетонной смеси на портландцементе в объем первого участка и последующее уплотнение бетонной смеси.

3.3 После перерыва, определенного исходя из производственных условий<sup>1</sup>, производится бетонирование второго участка конструкции бетонной смесью на клинкерном вяжущем с последующим виброуплотнением смеси. Нижний порог допустимого времени укладки не регламентируется, так как отсутствует непосредственный контакт первого и второго участков из бетона на клинкерном вяжущем, и, в свою очередь, отсутствует риск повреждения бетона первого участка. Однако, на основании вышеизложенного, интервал между укладкой первого и второго участка, как правило, составляет более двух часов. Верхний порог этого временного интервала технически также не регламентируется, а определяется исходя из производственно-организационных решений и экономических соображений (увеличение этого срока приводит к увеличению срока устройства конструкции).

3.4 После набора прочности бетона происходит демонтаж деревянных реек и осуществляется подготовка основания обоих участков: бетон левого и правого участков 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. Излишняя влага из свободного пространства удаляется. Рекомендуется производить подготовку основания непосредственно перед бетонированием свободного пространства. При этом прочность «старого» бетона должна быть не менее 1,5 МПа. Рекомендуемый возраст ранее уложенного бетона – 3 суток, но не менее 1 суток.

<sup>1</sup> Рабочие швы бетонирования, согласно СП 70.13330.2012 [2], устраиваются при невозможности обеспечить укладку нового слоя до начала схватывания бетона предыдущего слоя; продолжительность перерыва между укладкой смежных слоев бетонной смеси без образования рабочего шва устанавливается строительной лабораторией и, как правило, составляет от двух до трёх часов.

3.5 После чего в пространство, образованное между данными участками бетонированной конструкции, производится укладка шлакощелочной бетонной смеси, на основе шлака с модулем основности  $M_o > 1$ , затворенной щелочным раствором с  $pH > 12$ .

3.6 Рекомендуемый состав шлакощелочной бетонной смеси представлен в табл. 1, указания по приготовлению смеси приведены ниже. При этом класс шлакощелочного бетона должен соответствовать классу бетона конструкции.

Таблица 1

Состав шлакощелочной бетонной смеси

| Материалы   | Расход материалов в кг на $1\text{м}^3$ |
|---|---|
| Шлак доменный гранулированный молотый Челябинского металлургического комбината (группа «Мечел») | 425                                     |
| Песок белоярский по ГОСТ 8736-2014  | 750                                     |
| Щебень ГОСТ 26633-2012  | 1095                                    |
| Водный раствор NaOH $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$  | 170                                     |
| Добавка пластифицирующая  | 7                                       |

3.7 При изготовлении водного раствора гидроксида натрия необходимо ориентироваться на корреляцию плотности и концентрации раствора (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение плотности и концентрации раствора NaOH

| Плотность раствора $\rho$ | Содержание NaOH в 1л раствора | Концентрация раствора |
|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| $\text{г/см}^3$           | г                             | %                     |
| 1,16                      | 169,7                         | 14,63                 |

*Примечание.* Ориентировочная величина температурного коэффициента плотности водных растворов NaOH составляет  $0,001 \text{ г/см}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

3.8 Бетонная смесь должна быть подготовлена одним из следующих способов:

- централизованным на растворо-бетонном узле (РБУ), доставка осуществляется АБС;
- с использованием самоходных бетоносмесителей с самозагрузкой (например, FIORI или аналоги);
- на строительной площадке из сухих шлакощелочных бетонных смесей, фасованных в заводских условиях.

3.9 Поверхности опалубки должны быть покрыты смазкой. Ко всем видам опалубки для монолитных конструкций из тяжелых шлакощелочных бетонов предъявляются те же требования, что и при изготовлении монолитных конструкций из бетонов на портландцементе или его разновидностях. При применении неметаллической опалубки предварительно в лабораторных условиях следует определять адгезию шлакощелочного бетона к опалубке. Непосредственно перед бетонированием опалубка должна быть очищена от мусора и грязи.

3.10 После укладки осуществляется уплотнение дозаполненного участка по одной из технологий уплотнения:

- Виброуплотнение - с помощью глубинного вибратора, а также поверхностное с помощью виброрейки (при ограничении по толщине, указанном в нормах СП 70.13330.2012 [2]);
- С использованием уплотняющих насадок на перфоратор;
- Вакуумирование - сверху с использованием легких съемных щитов и матов;
- Комбинированный (допускается в случае, когда диаметр рабочей части глубинного вибратора больше половины ширины участка из шлакощелочной бетонной смеси) - штыкование на всю глубину стыка, после чего глубинный вибратор укладывается на поверхность смеси горизонтально по шву. Данный вариант не является оптимальным в виду малой подвижности шлакощелочного бетона.

3.11 Толщина укладываемого слоя бетонной смеси не должна быть более 1,25 длины рабочей части глубинного вибратора. Шаг перестановки глубинных вибраторов не должен превышать полуторного радиуса его действия. Продолжительность вибрирования на каждой позиции должна обеспечивать достаточное уплотнение бетонной смеси, основными признаками которого служат прекращение ее оседания, появление цементного молока на поверхности и прекращение выделения пузырьков воздуха (в пределах 15 – 30 с.).

3.12 Уход за бетоном должен обеспечивать сохранение надлежащей температуры твердения и предохранение свежееуложенного бетона от быстрого высыхания. Для этого свежееуложенный бетон закрывают от воздействия дождя и солнечных лучей и систематически поливают водой в сухую погоду 14 сут (одноразовый полив водой 0,5...1,0 кг/м).

3.13 Движение людей по забетонированным конструкциям и установка на них лесов и опалубки для возведения вышележащих конструкций допускается только после достижения бетоном прочности не менее 1,5 МПа.

3.14 Удаление несущей опалубки железобетонных конструкций допускается при достижении проектной прочности бетоном, %:

плиты и своды пролетом до 2 м.....50

плиты и своды пролетом 2...8 м.....70

несущие конструкции пролетом более 8 м.....100

3.15 Загружение конструкций полной расчетной нагрузкой допускается после приобретения бетоном проектной прочности. После снятия опалубки мелкие раковины на поверхности бетона можно расчистить проволочными щетками, промыть струей воды под напором и затереть жирным цементным раствором состава 1:2.

3.16 Крупные раковины и каверны расчищают на всю глубину с удалением наплывов, обрабатывают поверхность проволочными щетками и промывают струей воды под напором, заделывают жесткой бетонной смесью и тщательно уплотняют.

#### 4. Техника безопасности.

4.1 Водные растворы щелочных компонентов и добавок к шлакощелочному бетону должны приготавливаться с помощью механических мешалок или другого оборудования, исключающего необходимость их ручного перемешивания. Подачу растворов в расходные емкости и бетоносмесители рекомендуется осуществлять по трубопроводам самотеком или с помощью насосов, а переноску вручную - в наполненных не более чем на 3/4 высоты закрывающихся бачках.

4.2 Перед допуском к работе рабочие должны пройти инструктаж по технике безопасности при работе со щелочами и химическими добавками.

4.3 К работам по приготовлению растворов химических веществ, применяемых для шлакощелочного бетона, допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование и обучение безопасным методам работы с химикатами. Не следует допускать к работам по приготовлению растворов лиц с поврежденным кожным покровом (ссадины, ожоги, царапины, раздражения).

4.4 На емкостях со щелочным раствором и в местах его хранения должны быть предупреждающие знаки «Осторожно! Щелочь!».

4.5 Рабочие, занятые приготовлением растворов, должны работать в спецодежде из водоотталкивающей ткани, респираторах, защитных очках, резиновых сапогах и перчатках, а машинисты бетоносмесителей и формовщики - в спецодежде, защитных очках, резиновых сапогах и перчатках.

4.6 При случайном попадании щелочных растворов или шлакощелочной бетонной смеси на открытые участки кожи необходимо немедленно смыть их чистой водой, а при попадании в глаза - промыть водой и срочно обратиться за медицинской помощью.

4.7 Принимать пищу, курить и пользоваться открытым огнем (газосварка, газорезка) в помещениях для приготовления щелочных растворов строго запрещается.

4.8 При работе с молотым шлаком необходимо соблюдать все правила техники безопасности (характерные для работы с портландцементом и другими вяжущими).

5. Контроль за производством бетонных работ и качеством бетона на шлакощелочных вяжущих.

5.1 При изготовлении изделий из шлакощелочных бетонов необходимо вести тщательный и систематический контроль за производством бетонных работ и качеством бетона в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

5.2 Особое внимание следует уделять контролю качества щелочных компонентов, являющихся отходами или вторичными продуктами различных производств. При поступлении каждой новой партии щелочных компонентов необходимо проверять в лаборатории экспериментальным путем химический состав поступившего продукта и содержание вещества в растворах различной плотности.

5.3 Контроль за приготовлением растворов заключается в проверке их плотности, определяемой с точностью  $+0,01$  г/см<sup>3</sup> с помощью ареометров.

5.4 Определение плотности и расходование растворов должно производиться после предварительного тщательного их перемешивания. Дозирование растворов щелочных компонентов должно осуществляться с точностью  $+2$  % от их расчетного количества.

5.5 При укладке бетонной смеси следует не реже 2 раз в смену контролировать ее подвижность, жесткость и плотность. Отклонение подвижности от заданной не должно превышать 30 %, а отклонение жесткости - 20 % от заданной величины.

5.6 При уходе за монолитными конструкциями необходимо контролировать своевременность и тщательность укрытия бетона влаго- и теплоизоляционными покрытиями после бетонирования, температуру бетона на глубине 5-10 см от поверхности изделия и окружающей среды и прочность бетона.

5.7 Выходной контроль и оценка качества шлакощелочных бетонов должны осуществляться по следующим стандартам: прочность - ГОСТ 10180-2012, ГОСТ 17624-1-2012, ГОСТ 18105-2018; морозостойкость - ГОСТ 10060-2012; водонепроницаемость - 12730-2018; истираемость - ГОСТ 13087-2018.

5.8 Приемку монолитных конструкций производить в соответствии с СП 435.1325800.2018 [3].

6. Калькуляция трудовых затрат на устройство рабочего шва бетонирования согласно представленной технологии (применительно к плите с размерами 12 x 35 м, высотой 0,2 м) приведена в таблице 3.

7. График выполнения работ приводится в таблице 4.

## Калькуляция трудовых затрат

| № | Наименование работ                              | Обоснование  | Ед. изм.                       | Объем работ | Норма времени, чел-ч | Затраты труда на весь объем, чел-ч | Расценка, руб-коп   | Стоимость затрат труда на весь объем, руб-коп |
|---|---|--|--------------------------------|-------------|----------------------|------------------------------------|---------------------|---|
| 1 | 2   | 3  | 4                              | 5           | 6                    | 7                                  | 8                   | 9   |
| 1 | Устройство опалубки                             | ЕНиР 4-1-27<br>табл.5, п.3                           | 1м <sup>2</sup>                | 420         | 0,24                 | 100,8                              | 0-13,4              | 13-50,72                                      |
|   | Установка стоек                                 | ЕНиР 4-1-26<br>табл., п.3                            | шт                             | 74          | 0,08                 | 5,9                                | 0-0,48              | 3-55,2  |
| 2 | Установка отсечек первого и второго участка     | ЕНиР 4-1-32<br>табл.п.9                              | 1м <sup>2</sup><br>площади шва | 4,8         | 0,56                 | 2,69                               | 0-35                | 1-68  |
| 2 | Арматурные работы                               | ЕНиР 4-1-34<br>п.8                                   | 1тн                            | 4           | 32,0                 | 128                                | 17-89               | 32-78   |
|   | Установка проемобразователей пробок вентканалов | ЕНиР 4-1-30<br>п.1                                   | 100 шт                         | 0,22        | 60                   | 13,2                               | 34-81               | 7-65,82                                       |
| 3 | Подача бетонной смеси                           | ЕНиР 4-1-36,<br>табл.7п.2<br><br>ЕНиР 4-1-37<br>п.12 | 100 м <sup>3</sup>             | 0,418       | 18,9                 | 7,9                                | 10-98<br><br>0-47,5 | 4-59<br><br>19-87,4                           |
|   | Укладка бетонной смеси в объем 1-го участка     |  | м <sup>3</sup>                 | 41,84       | 0,85                 | 35,56                              |                     |   |
|   | Укрытие открытых бетонных поверхностей полами   |  | 100 м <sup>2</sup>             | 2,1         | 0,42                 | 0,88                               |                     |   |
| 4 | Подача бетонной смеси                           | ЕНиР 4-1-36,<br>табл.7п.2<br><br>ЕНиР 4-1-37<br>п.12 | 100 м <sup>3</sup>             | 0,418       | 18,9                 | 7,9                                | 10-98<br><br>0-47,5 | 4-59<br><br>19-87,4                           |
|   | Укладка бетонной смеси в объем 2-го участка     |  | м <sup>3</sup>                 | 41,84       | 0,85                 | 35,56                              |                     |   |
|   | Укрытие открытых бетонных поверхностей полами   |  | 100 м <sup>2</sup>             | 2,1         | 0,42                 | 0,88                               |                     |   |

Продолжение таблицы 3

|       |  |                                |                                   |     |        |      |        |         |
|-------|--|--------------------------------|-----------------------------------|-----|--------|------|--------|---------|
| 5     | Демонтаж отсечек                               | ЕНиР 4-1-32<br>табл.п.11       | 1м <sup>2</sup><br>площади<br>шва | 4,8 | 1,6    | 7,68 | 0-88,8 | 4-26,24 |
| 6     | Укладка бетонной смеси в стык                  | ЕНиР 4-1-18<br>табл.2,п.5      | узел                              | 1   | 1,05   | 1,05 | 0-62   | 0-62    |
| 7     | Снятие пологов с 1-го участка                  | ЕНиР 4-1-27<br>табл.5, п.3     | 100 м <sup>2</sup>                | 2,1 | 0,44   | 0,9  | 0-10,5 | 21-84   |
|       | Демонтаж опалубки 1-го участка                 |                                |                                   |     |        | 41,6 |        |         |
|       | Демонтаж стоек 1-го участка                    | ЕНиР 4-1-26<br>табл., п.3      | м <sup>2</sup>                    | 208 | 0,2    |      |        |         |
|       | Очистка опалубки, монтаж стоек временной опоры | 20% от трудоемкости распалубки | шт                                | 70  | 0,05   | 3,5  |        |         |
|       |  |                                |                                   |     |        | 8,32 |        |         |
| 8     | Распалубочные работы на 2-ом участке           | Аналогично пункту 7            |                                   |     |        |      |        |         |
| 9     | Демонтаж опалубки стыка                        | ЕНиР 4-1-27<br>табл.5, п.3     |                                   |     |        | 0,8  |        |         |
|       |  | ЕНиР 4-1-26<br>табл., п.3      | м <sup>2</sup>                    | 4   | 0,2    | 0,4  |        |         |
|       |  | 20% от трудоемк. демонтаж      | шт                                | 8   | 0,05   | 0,24 |        |         |
| ИТОГО |  |                                |                                   |     | 458,08 |      |        |         |



## 8. Контроль качества

8.1 При входном контроле необходимо учитывать класс бетона по прочности на сжатие, который должен соответствовать указанной в рабочих чертежах. Бетон должен соответствовать требованиям ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия».

8.2 Операционный контроль осуществляется в ходе выполнения технологических операций для обеспечения своевременного выявления дефектов и принятия мер по их устранению и предупреждению. Основным документом при операционном контроле является СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции» [2].

8.3 Результаты операционного контроля фиксируются в журнале производства работ. Перечень технологических процессов, подлежащих контролю, приведен в таблице 5.

Таблица 5

Перечень технологических процессов, подлежащих контролю

| № п/п | Наименование технологических процессов, подлежащих контролю | Предмет контроля   | Способ контроля и инструмент             | Время проведения контроля | Ответственный за контроль          | Технические характеристики оценки качества         |
|-------|---|--|--|---------------------------|------------------------------------|--|
| 1     | 2   | 3  | 4  | 5                         | 6                                  | 7  |
| 1     | Установка опалубки и отсечек                                | Соответствие проекту элементов опалубки и крепежных элементов, правильность установки и надежность закрепления, соблюдение размеров между опалубкой и арматурой, герметичность стыков, смазка палубы, наличие паспортов на опалубку. А также:<br>- перепады поверхностей щитов не более 2 мм;<br>- щели между щитами 2мм;<br>- смещение осей опалубки от проектного положения $\pm 5,5$ мм;<br>- прогиб 1/500 пролета; | Рулетка, метр, нивелир<br><br>Визуально. | В процессе работы         | Геодезист<br><br>Мастер или прораб | Соответствие параметров проекту и СП 70.13330.2012 |

|   |                     |   |  |   |                                |   |
|---|---------------------|---|--|---|--------------------------------|---|
| 2 | Установка арматуры  | <p>Соответствие геометрических размеров арматурной стали проекту, плановых и высотных отметок по отношению к осям здания, качество соединения арматурной стали, наличие паспортов на арматурную сталь. Также:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- расстояние между отдельно установленными рабочими стержнями <math>\pm 10</math> мм;</li> <li>- расстояние между рядами арматуры <math>\pm 10</math> мм;</li> <li>- длина нахлестки при армировании конструкций без сварки отдельными стержнями для арматуры А-III 50d;</li> <li>- длина нахлестки при армировании конструкций без сварки сварными сетками и каркасами 250 мм; суммарная длина сварных швов на стыке стержней внахлестку для арматуры А-III при односторонних швах <math>-8d</math>;</li> <li>- толщина защитного слоя <math>+8</math> мм; <math>-5</math> мм.</li> </ul> | УШС-3<br>Штангенциркуль,<br>рулетка,<br>метр | В процессе работы                         | Прораб,<br>мастер,<br>бригадир | Соответствие параметров проекту, СП 70.13330.2012 и ГОСТ 34028-2016 |
| 3 | Бетонирование плиты | <p>Класс бетона, подвижность бетонной смеси.<br/>Непрерывность бетонирования, качество уплотнения, уход за бетоном, сохранность установленной арматуры, устройство рабочих швов согласно технологии, защита бетона от попадания атмосферных осадков или потери влаги.</p> <p>Проверка прочности и однородности бетона</p>   | Отбор. Стандартный конус, метр. Визуально    | В процессе работы<br><br>После распалубки | Лаборатория. Мастер, прораб    | Соответствие параметров проекту и СП 70.13330.2012                  |

## Список литературы:

1. СП 48.13330.2019 Организация строительства (актуализированная редакция СНиП 12-01-2004)

2. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции (актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87)
3. СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Общие требования
4. СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Строительное производство
5. МДС 12-29.2006 Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА  
НЕЗАПЛАНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ШВА БЕТОНИРОВАНИЯ В  
ФУНДАМЕТНОЙ ПЛИТЕ**

При выставленной опалубке и уложенной в проектное положение арматуре происходит бетонирование с первой точки стоянки машины по стандартной технологии с уплотнением бетонной смеси. В случае возникновения незапланированного перерыва по организационно-технологическим причинам (например, перебои в электричестве на строительной площадке, выход строительных механизмов и оборудования из строя, задержка автобетоносмесителя и т.д.), превышающего время схватывания уложенной в конструкцию бетонной смеси, предлагается действовать следующим образом:

1. На участке, где произошло стекание бетонной смеси, с помощью крепежной оснастки, инструмента и досок из дерева/фанеры с нанесенной на контактную поверхность антиадгезионной смазкой осуществляется фиксация реек-отсечек, создающих ступенчатый контур контактной поверхности бетона (рис. 1).

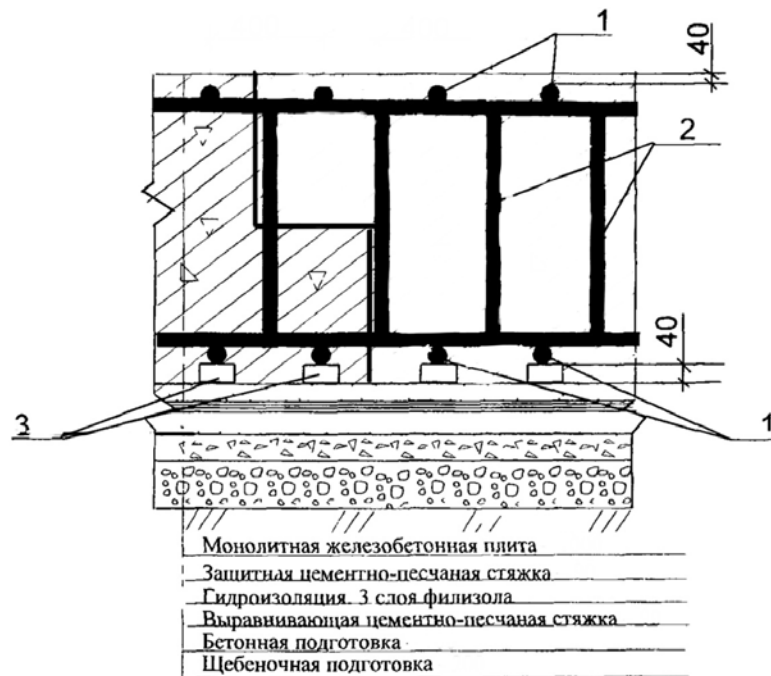


Рисунок 1. Фиксация реек-отсечек на первом участке с уложенной бетонной смесью:

1 - верхняя и нижняя арматура; 2 – плоские каркасы; 3 – пластмассовые фиксаторы

2. После перерыва, определенным интервалом с нижней границей – времени схватывания ранее уложенного бетона первого участка, возобновляется бетонирование конструкции со второй точки стоянки машины с предварительно закрепленными на втором участке отсечками из деревянных/фанерных реек по технологии из п.1 (рис. 2). Бетонирование ведется с послойным вибрированием обычным способом. В результате организуется пространство, ограниченное поверхностью левого (первого) и правого (второго) забетонированных участков и опалубкой, формы близкой к пирамидальной.

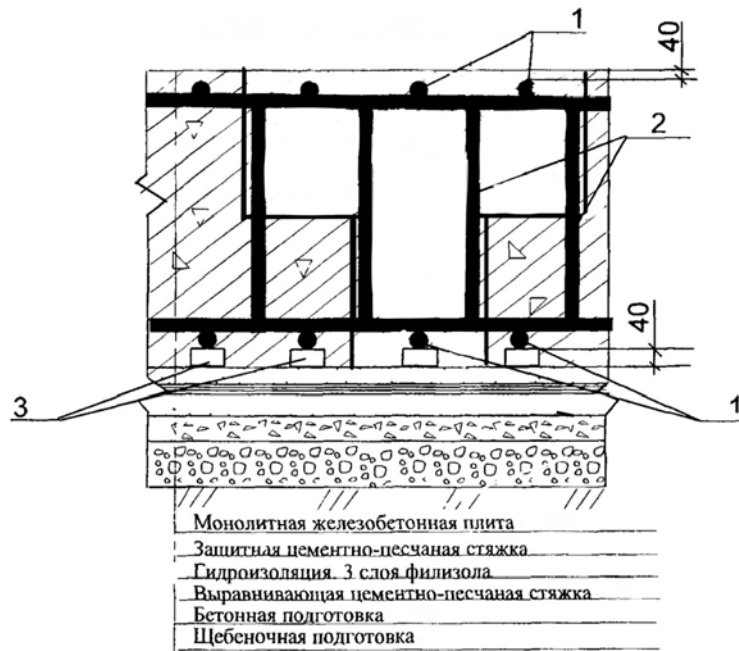


Рисунок 2. Фиксация реек-отсечек на втором участке

1- верхняя и нижняя арматура; 2 – плоские каркасы; 3 – пластмассовые фиксаторы

3. Происходит выдерживание бетона обоих участков со всеми мероприятиями по уходу за бетоном, предъявляемые [2, 3] в течение временного интервала, составляющего не менее 1 суток с момента укладки второго участка, но не превышающим 3 суток с момента укладки первого участка. После чего происходит демонтаж реек-отсечек с обоих участков и на бетонные поверхности правого и левого участков кисточкой наносится шлакощелочной раствор (состав и свойства представлены в табл. 1) слоем 1-2 мм.

Таблица 1

## Характеристика раствора

| Материал                                      | Шлак   | Затворитель  |
|---|--|--|
| Характеристика                                | Шлак доменный гранулированный по ГОСТ 3476-2019<br>Модуль основности > 1 | Вода: фильтрованная по ГОСТ 23732-2011   |
|   |  | Щелочной компонент: гидроксид натрия по ГОСТ Р 55064 – 2012                      |
|   |  | Концентрация р-ра 14,64% (169,7 на 1л), $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$ , pH = 12,4 |
| Расход на 1м <sup>2</sup> поверхности         | 5,2 кг   | 2,08 л   |
| Соотношение шлак/щелочной затворитель – 2,5/1 |  |  |

Необходимо предотвратить попадание на поверхности воды, мусора и грязи. По истечению 40-60 минут осуществляется укладка бетонной смеси на портландцементе в пределы

свободного пространства по нанесенному шлакощелочному раствору (рис. 3), при этом класс укладываемого бетона должен быть идентичен классу бетона уложенных участков. Бетонная смесь уплотняется глубинными вибраторами. Шаг перестановки глубинных вибраторов не должен превышать полуторного радиуса его действия. Глубина погружения глубинного вибратора в бетонную смесь должна обеспечивать углубление его в ранее уложенный слой на 5-10 см. Продолжительность вибрирования на каждой позиции должна обеспечивать достаточное уплотнение бетонной смеси, основными признаками которого служат прекращение ее оседания, появление цементного молока на поверхности и прекращение выделения пузырьков воздуха (как правило, составляет 20 – 30 с). В местах, где арматура, закладные изделия или опалубка препятствуют надлежащему уплотнению бетонной смеси вибраторами, её следует дополнительно уплотнять штыкованием.

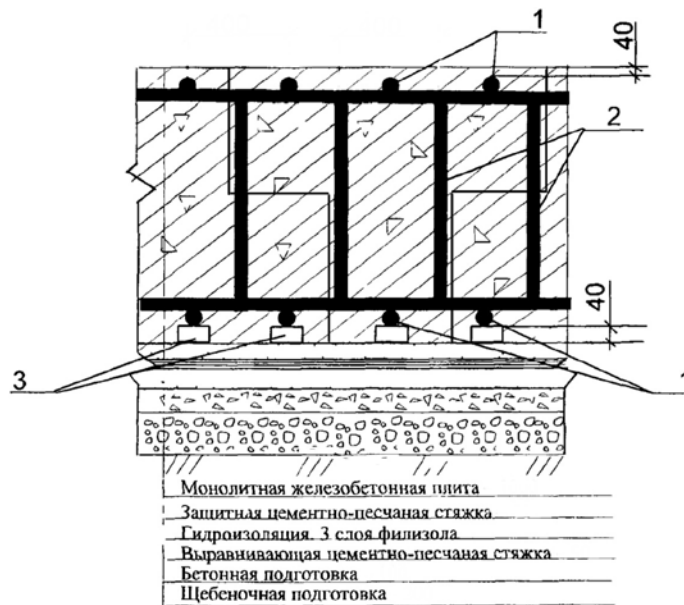


Рисунок 3. Укладка клинкерной бетонной смеси по нанесенному шлакощелочному раствору:

1- верхняя и нижняя арматура; 2 – плоские каркасы; 3 – пластмассовые фиксаторы

4. После укладки бетонной смеси происходит осуществляется уход за бетоном, заключающийся в создании благоприятных температурно-влажностных условий. Выдерживается бетон до прочности, определенной проектом. Уход за бетоном должен обеспечивать сохранение надлежащей температуры твердения и предохранение свежесуложенного бетона от быстрого высыхания. Свежесуложенный бетон, прежде всего, закрывают от воздействия дождя и солнечных лучей и систематически поливают водой в сухую погоду в течение 7 сут бетонов на портландцементе или глиноземистом цементе и 14 сут на прочих цементах (одноразовый полив водой 0,5...1,0 кг/м). При температуре воздуха ниже 5 °С полив не производится. Движение людей по забетонированным конструкциям и установка на них

лесов и опалубки для возведения вышележащих конструкций допускается только после достижения бетоном прочности не менее 1,5 МПа. Загружение конструкций полной расчетной нагрузкой допускается после приобретения бетоном проектной прочности.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 6**  
**СПРАВКИ О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**



ООО "КОНСТРУКТИВ"  
Расчетный счет 4070281039000022955  
в ПАО "ЧЕЛЯБИНВЕСТБАНК"  
в отделении Челябинска

ОГРН 1167456110755  
ИНН 7451411849  
КПП 745301001

**Справка**  
**о внедрении результатов диссертационного исследования**  
**Каган Марии Николаевны на тему:**  
**«Технология устройства стыков и технологических швов**  
**в железобетонных конструкциях»,**  
**выполненного по специальности**  
**2.1.7 – Технология и организация строительства**

Основные результаты диссертационного исследования старшего преподавателя кафедры Строительного производства и теории сооружений Южно-Уральского государственного университета Каган М.Н. были реализованы при разработке организационно-технологической документации при устройстве монолитных железобетонных перекрытий с рабочими швами бетонирования на 19-ти этажном каркасно-монолитном здании объекта «Комплекс многоквартирных жилых домов со встроенно-пристроенными нежилыми помещениями объектов обслуживания жилой застройки и подземной автостоянкой на 242 машино-места», расположенного по адресу: г. Челябинск, ул. Труда, 187, в составе ЖК «Грани».

Заместитель директора  
канд. техн. наук



А.Е. Русанов

**СИМВОЛ БЕТОН**

ООО «Символ Бетон»  
 www.simvolbeton.ru  
 454901, г. Челябинск,  
 ул. Водрем 40/20  
 тел./факс: +7 (351) 210 15 00

**Справка  
 о внедрении результатов кандидатской диссертационной работы  
 Каган Марии Николаевны**

Результаты диссертационной работы «Технология устройства стыков и технологических швов в железобетонных конструкциях», представленной на соискание степени кандидата технических наук (специальность 2.1.7 – Технология и организация строительства), используются при производстве составов бетонных смесей на основе шлакощелочного вяжущего, предназначенных для устройства технологических швов бетонирования и замоноличивания стыков в сборных железобетонных конструкциях.

Директор ООО «Символ-Бетон»



Л.Б. Мельник

Технический директор  
 ООО «Символ-Бетон»

Ю.В. Ионов

Р/СЧ 40702810938160000093  
 в Филиале «Екатеринбургский» АО «АЛЬФА-БАНК»,  
 г. Екатеринбург КОР/СЧ 3010181010000000964 БИК  
 046577964