

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет)  
Архитектурно-строительный институт  
Кафедра «Строительное производство и теория сооружений»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент:

\_\_\_\_\_

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой:

\_\_\_\_\_ Г.А. Пикус

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к выпускной квалификационной работе магистра на тему:

Влияние технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона

в зоне контакта нового слоя с основанием

ЮУрГУ 08.04.01 «Строительство». АСИ-393. ПЗ ВКР

Руководитель: Старший преподаватель

\_\_\_\_\_ Каган М.Н.

« 08 » января 2021 г.

Проверка по системе антиплагиат: 75,91%

\_\_\_\_\_ Каган М.Н.

« 08 » января 2021 г.

Нормоконтролер:

\_\_\_\_\_ Каган М.Н.

« 08 » января 2021 г.

Автор ВКР:

\_\_\_\_\_ Лычагин Д.Ю.

« 08 » января 2021 г.

## АННОТАЦИЯ

Лычагин Д.Ю. Выпускная квалификационная работа «Влияние технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием» – Челябинск: ЮУрГУ, АСИ, 2021, 85 с., 18 ил., 13 табл., библиогр. список – 51 наим., 5 прил.

Целью выпускной квалификационной работы является изучение влияния технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием при помощи экспериментального подхода.

Изучена проблема влияния технологического шва бетонирования и дефектов его устройства на работу железобетонных конструкций. Рассмотрены требования действующих в Российской Федерации нормативных документов по устройству рабочего шва бетонирования. Представлены методология и результаты экспериментального исследования влияния химического состава (уровень pH) среды и зачистки контактной поверхности на прочность технологического шва.

Проведен анализ и сформулированы выводы, которые послужат основой для проведения дальнейших исследований в области улучшения сцепления «старого» и «нового» бетона: выявлено влияние всех рассмотренных в исследовании факторов, проанализирована зависимость прочности технологического шва от зачистки контактной поверхности основания бетона и pH затворяющего раствора вновь укладываемой смеси.

					<i>АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Зав. каф.</i>		<i>Пикус Г.А.</i>			<i>Влияние технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Руководитель</i>		<i>Каган М.Н.</i>					2	
<i>Н. Контр.</i>		<i>Каган М.Н.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра СПиТС</i>		
<i>Исполнитель</i>		<i>Лычагин Д.Ю.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ БЕТОНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО СОЕДИНЕНИЯ БЕТОНА В ЗОНЕ КОНТАКТА НОВОГО СЛОЯ С ОСНОВАНИЕМ .....	8
1.1 Нормы и правила, регламентирующие устройство рабочего шва и стыков монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций.....	10
1.2 Сравнение составов. ....	12
1.2. Коррозия бетонов.....	13
1.3 Обработка контактной поверхности «старого» бетона. ....	17
2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	22
2.1. Определение прочности бетона технологического шва на сжатие. .	24
2.1.1. Средства испытания и вспомогательные устройства.....	26
2.1.2. Изготовление образцов для испытания .....	27
2.1.3 Проведение испытаний. Первый этап.....	28
2.1.4. Обработка результатов испытания. Этап 1 .....	31
2.1.5. Проведение испытаний. Этап 2. ....	38
2.1.6. Обработка результатов испытания. Этап 2 .....	39
2.2. Определение прочности бетона технологического шва при испытании на срез. ....	44
2.2.1. Средства испытания и вспомогательные устройства.....	46
2.2.2. Изготовление образцов для испытания .....	47
2.2.3. Проведение испытаний бетонных балочек на срез в зоне.....	49
2.2.4. Обработка результатов испытания. Этап 1 .....	51

										Лист
										3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

2.2.5. Проведение испытаний бетонных балочек на срез в зоне технологического шва. Этап 2. ....	52
2.2.6. Обработка результатов испытания. Этап 2 .....	54
2.3. Определение прочности сцепления (адгезии) раствора (бетона) с основанием.....	56
2.3.1. Средства испытания и вспомогательные устройства.....	58
2.3.2. Изготовление образцов для испытания .....	59
2.3.3. Проведение испытаний .....	59
2.3.4. Обработка результатов испытания.....	62
3. СРАВНЕНИЕ СТОИМОСТИ ПРИМЕНЯЕМЫХ В ХОДЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ СОСТАВОВ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ.....	65
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	71
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	72
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	78
Приложение А .....	78
Приложение Б.....	79
Приложение В .....	80
Приложение Г .....	81
Приложение Д .....	84

## ВВЕДЕНИЕ

**Бетон** (от фр. béton, от лат. bitumen – горная смола) - это строительный материал, представляющий собой искусственный камень, полученный в результате формования и упрочнения уплотненной и рационально выбранной смеси, состоящей из вяжущего, заполнителей крупных и мелких фракций, воды или водного раствора и добавок. Работа с бетоном и железобетоном является одним из основных видов строительных работ. Широкое использование бетона и железобетона в строительстве определяется его преимуществом, по ряду показателей, как строительного материала [18-20].

Бетон и композиты на его основе являются в данный момент времени основными строительными материалами. В практике мирового строительства и реконструкции объектов все большее использование находят сборно-монолитные бетонные и монолитные железобетонные конструкции, конструкции из сборного железобетона [15].

Масштабы использования бетона и железобетона обусловлены их высокими физико-механическими свойствами: долговечностью, хорошей термостойкостью и влагостойкостью, возможностью производства конструкций с использованием относительно простых технологических методов, в основном с использованием местных материалов (за исключением стали) и относительно низкой стоимостью [18-20].

Наряду с увеличением использования сборного бетона и железобетона, увеличивается количество зданий и сооружений, выполненных на основе монолитных конструкций.

Практика подтвердила технические и экономические преимущества строительства зданий и сооружений, отдельных элементов и конструкций в монолитном и сборно-монолитном исполнении. Монолитное строительство позволяет использовать свои ресурсосберегающие возможности для повышения качества и долговечности жилья, выразительности архитектурных решений отдельных зданий и градостроительных комплексов. Техничко-экономический

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

анализ показывает, что в большинстве случаев монолитный железобетон оказывается более эффективным с точки зрения потребления материала, общей трудоемкости и снижения затрат [21].

Преимущества монолитного железобетона могут быть реализованы прежде всего в районах со сложными геологическими условиями, на сейсмоактивных территориях, а также в местах, где нет или недостаточно мощностей для строительства полносборного жилья.

В связи с распространенностью применения в современном строительстве монолитных, сборно-монолитных конструкций и конструкций из сборного железобетона, в настоящее время актуальны исследования качества соединения бетонов разных возрастов в условиях устройства рабочих швов и замоноличивания стыков конструкций.

**Целью** выпускной квалификационной работы является изучение влияния технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием при помощи экспериментального подхода в лабораторных условиях.

Такая постановка цели предполагает решение следующих **задач**:

1. Подбор компонентов и материалов для составов бетонных смесей.
2. Подготовка испытуемых образцов в лабораторных условиях. Укладка бетонных смесей в формы. Комбинирование составов.
3. Испытание образцов в лабораторных условиях.
4. Построение графиков зависимостей, анализ результатов, сравнение результатов образцов, выводы.

**Научная новизна** выпускной квалификационной работы заключается в том, что работ по изучению качества соединения «старого» и «нового» бетонов крайне мало. В ходе исследований получены результаты влияния уровня pH затворяющего раствора на прочность соединения бетонов разных возрастов.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						6
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

**Практическая ценность работы и внедрение результатов.** Результаты полученные в ходе проведения экспериментов могут служить материалом для дальнейшего изучения вопроса качества и прочности соединения бетона.

**Достоверность** результатов исследования гарантируется проведением исследований согласно требованиям российских и международных норм, а также их проведением в лабораторных условиях на действующих промышленных предприятиях. Стоит отметить, что лабораторное оборудование, при помощи которого проводились эксперименты, регулярно поверяется и калибруется.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

# 1. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ БЕТОНИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО СОЕДИНЕНИЯ БЕТОНА В ЗОНЕ КОНТАКТА НОВОГО СЛОЯ С ОСНОВАНИЕМ

В выпускной квалификационной работе моделируются ситуации, сосредоточенные на основных недостатках бетонных и железобетонных конструкций:

- для монолитных железобетонных конструкций – это наличие рабочего шва при производстве монтажных работ;
- для сборно-монолитных конструкций и сборного железобетона – наличие стыков, между соединяемыми конструкциями;
- ремонт конструкций;
- увеличение несущей способности при помощи устройства набетонки на перекрытии.

Что объединяет эти проблемы? А объединяет следующее: контакт «старого» затвердевшего бетона с вновь укладываемым «новым» бетоном. Монолитность бетонных и железобетонных конструкций - один из факторов, определяющих прочность и долговечность как отдельной конструкции, так и всего здания. Совместная работа отдельных элементов конструкции и сопряженных между собой элементов важна для полной прочности здания или сооружения [43]. В данной ситуации, наиболее опасным видом разрушения для конструкций является нарушение прочности контакта затвердевшего бетона со свежееуложенным (новым), снижающее их прочностные характеристики и эксплуатационные качества в целом. [19] Стоит отметить, что отсутствие трещин между старым бетоном (т. е. сопрягаемой поверхностью сборного элемента) и новым бетоном монолитного шва является определяющим фактором долговечности и надежности конструкции. В случае плохой адгезии между старым и новым бетоном, влага может проникнуть через трещину, что приведет к коррозии соединительных стержней сопрягаемых элементов. С момента создания

									Лист
									8
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ				



сборно-монолитных конструкций большое внимание уделялось надежности их соединения. Хорошо известные технологические методы улучшения адгезии старого и нового бетона, такие как активная обработка поверхности старого бетона (поверхность, контактирующая с бетоном для затирки), описаны в научных работах [45].

Вопреки регулярному использованию понятия рабочего шва и стыка (монтажных соединений), а также четкое указание в строительных нормах технологии их выполнения, большинство организаций не соблюдают правильную технологию бетонирования элементов, вследствие чего, прочностные и жесткостные характеристики конструкции ухудшаются, поскольку величина сцепления нового бетона со старым значительно ниже, чем монолитной конструкции. В результате технологический шов и стыки отличаются от монолитного бетонирования не только по прочности, но и по другим характеристикам: меньшая жесткость, несущая способность, морозостойкость, трещиностойкость, водопроницаемость и т.д. Таким образом, швы и стыки являются одним из слабых мест конструкции в целом [18] так как система конструкций разрушится с большей вероятностью в зоне контакта, примыкания, связи конструкций между собой, чем это произойдет по равномерному телу самой монолитной конструкции. В данном случае в расчет не берутся ошибки: при проектировании, при производстве строительно-монтажных работ или при эксплуатации зданий и сооружений. Будем считать, что все работы выполнены в соответствии с технологией производства и согласно нормативной базе. То есть исключим человеческий фактор. Остается только проблема технологических швов и стыков конструкций.

Несмотря на актуальность изучения работы технологического шва в составе конструкций зданий и сооружений, в настоящее время в этом направлении проведено крайне мало исследований [18]. Именно это и привело к идее проведения экспериментальных исследований по изучению влияния

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						9
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием.

Данная работа направлена на изучение вопроса не с точки зрения применяемого конструктива, а с точки зрения применяемого материала, при производстве строительного-монтажных работ.

### **1.1 Нормы и правила, регламентирующие устройство рабочего шва и стыков монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций**

При строительстве и реконструкции зданий и сооружений из железобетонных конструкций важную роль играет обеспечение надежного контакта между затвердевшим и вновь укладываемым бетоном [3, 5, 26, 33, 39, 46, 51]. Особенно высокие требования при возведении конструкций из монолитного железобетона предъявляются к устройству рабочих швов.

Как известно, наличие шва бетонирования значительно снижает жесткость и несущую способность конструкции даже при отсутствии дефектов его устройства [18, 20, 43]. Некачественно выполненный рабочий шов бетонирования вызывает коррозию арматуры, фильтрацию грунтовых вод, снижение прочности конструкции и в конечном итоге может приводить к строительным авариям.

В настоящее время качество производства технологического шва регламентируется следующими нормативными документами:

– СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 [28].

– СП 435.1325800.2018 Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ [29].

Согласно нормативным документам при устройстве рабочего шва и монолитного стыка необходимо обеспечить и учесть [28, 29]:

– зачистку поверхности контакта от грязи, масел, снега и цементной пленки контактной поверхности;

– промывку водой и просушивание струей воздуха контактной поверхности;

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

– перпендикулярность укладки бетонной смеси относительно оси бетонируемых колонн и балок, поверхности плит и стен;

– достижение бетоном прочности не менее 1,5 МПа в зависимости от способа обработки бетонной поверхности;

– рабочие швы при бетонировании при электродном прогреве должны размещаться так, чтобы расстояние от шва до ряда электродов, находящихся в бетоне, не превышало 100 мм.

– запрещается применение противоморозных добавок, содержащих хлориды, при замоноличивании стыков и швов сборно-монолитных железобетонных конструкций.

Рабочие швы следует устраивать при бетонировании [28, 29]:

- 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.

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

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

## 1.2 Сравнение составов.

Итак, на сегодняшний день конструкции из бетона и железобетона, а также композитов созданных на основе бетона являются определяющими, самыми распространенными в мировой практике строительства. Так что такое бетон?

Бетон –искусственный камневидный строительный материал, получаемый в результате формования и твердения рационально подобранной и уплотненной бетонной смеси.

В современном строительстве на строительных площадках чаще всего встречается портландцемент (в частности в Российской Федерации и странах СНГ). Доля применения шлакощелочного бетона чрезвычайно мала, она составляет 2 – 3 % от общего числа портландцемента, использованного при строительстве [1].

В данной научно-исследовательской работе рассматривались образцы из портландцемента и шлакощелочного бетона. Перечислим ряд достоинств и недостатков, приписываемых данным материалам.

К достоинствам портландцемента относят [2, 4, 47]:

- быстрый набор прочности состава;
- трещиностойкость;
- подвижность смеси. Обеспечивает лучшее заполнение и просачивание смеси в трудно доступные места.

К недостаткам портландцемента относят:

- высокая коррозионность в воде и водных растворах;
- подверженность материала различным видам коррозии;
- водопроницаемость;
- низкая морозостойкость

К достоинствам шлакощелочного цемента относят [6]:

- увеличение прочности в 1,5-2,5 раза по сравнению с проектной прочностью (бетон увеличивает прочность в процессе эксплуатации);

									Лист
									12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

– повышенная стойкость в агрессивных средах, отличается стойкостью к слабокислой (рН=3,0) и сульфатной средах, к морской воде (в 1,5-1,7 раза выше показатель, чем у портландцемента);

– износостойкость сродни граниту (0,21-0,47 г/см<sup>2</sup>);

– повышенная морозостойкость (от 300 до 1000 циклов заморозки-оттаивания и более);

– обладает клеящей способностью при сцеплении с поверхностью арматуры;

– показатели потерь массы арматурных стержней наравне с портландцементом (сохранность стержней в этих бетонах на протяжении 90 суток). При более жестких условиях (попеременное увлажнение и высушивание, хранение в атмосфере углекислого газа) арматурная коррозия ниже, чем портландцементных образцах. В аэрированной морской воде коррозия арматуры в 1,7-2 раза ниже, чем у портландцемента.

– легкость укладки;

– замкнутость пор;

– более низкие тепловыделения при наборе прочности, по сравнению с портландцементом.

К недостаткам шлакощелочного бетона относят:

– недостаточная распространённость использования материала (особенно на территории Российской Федерации и стран СНГ);

– малая скорость набора прочности (по сравнению с портландцементом).

Стоит отметить, что шлакощелочной бетон имеет более низкие тепловыделения, чем портландцемент. Что является, одновременно, плюсом при плюсовых температурах, так и минусом при отрицательных температурах.

## 1.2. Коррозия бетонов.

Бетонные конструкции, как и любые другие конструкции, прежде всего должны обладать прочностью и долговечность. Но, как и любой другой строительный материал, бетон подвержен коррозии, под воздействием которой, в

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

ходе эксплуатации, возрастает вероятность разрушения материала, а вместе с ним и всей бетонной конструкции.

Коррозия бетонов по характеру ее возникновения делится на [32]:

– коррозию под воздействием внешних факторов: действие вод и водных растворов, содержащих агрессивные агенты; температурные колебания окружающей среды; процессы периодического высыхания и увлажнения, замораживания и оттаивания, бактериологического воздействия, механического действия (эрозия, истирание, ударные воздействия);

– коррозия из-за внутренних процессов: водопроницаемость бетонов, температурные расширения цементного камня и заполнителя.

Также коррозия бетона и цементного камня подразделяется на:

– физическая коррозия;

– химическая коррозия.

### **Физическая коррозия**

Периодическое замораживание и оттаивание материала, а также другие факторы постепенно приводит к деформациям и разрушению структуры цементного камня, в результате чего снижается прочность материала, он становится рыхлым.

Источниками коррозии являются:

– гидравлическое давление на стенки пор и капилляров. В результате замерзания воды в порах, микротрещинах и капиллярах, происходит увеличение ее в объеме на 9%;

– осмотическое давление. Возникает в результате отделения замершей воды от раствора;

– воздействие повышенных температур. При температуре от +155°C происходит дегидратация гидроалюминатов и гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , с последующим выделением оксида кальция  $\text{CaO}$ ;

									Лист
									14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ				

– периодическое увлажнение и высыхание. В условиях набухания и усадки в бетоне накапливаются остаточные деформации, нарушается структура цементного камня;

– солевая коррозия. В результате кристаллизации солей в порах бетона, происходит рост кристаллов, которые оказывают давление на стенки пор и капилляров.

Мероприятия увеличения морозостойкости составов:

– уменьшение пористости цементного камня. Пористость уменьшается при помощи: снижение водоцементного отношения; применение цемента с пониженным водопотреблением; введение пластифицирующих, гидрофобизирующих или воздухововлекающих добавок;

– подбор цемента с минералогическим составом, который будет соответствовать климатическим условиям местоположения объекта строительства.

Мероприятия повышения жаростойкости бетона:

– введение добавок: шамот, трепел, туф или хромомagnesит.

Мероприятия, препятствующие влиянию периодического увлажнения и высыхания:

- автоклавная обработка;
- снижение водоцементного отношения;
- переход к системе с крупным и мелким заполнителем.

Мероприятия, препятствующие солевой коррозии:

- уменьшение пористости материала;
- защита гидроизоляцией.

Химическая коррозия

– коррозия I вида(выщелачивание). Происходит растворение кристаллов гидроксида кальция;

– коррозия II вида:

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

а.) углекислая коррозия. Углекислая кислота является катализатором реакции карбонизации. Под действием углекислых вод в цементном камне образуется  $\text{CaCO}_3$ , который при взаимодействии с  $\text{CO}_2$ , образуется, вымываемый водой, гидрокарбонат;

б.) кислотная коррозия. Воды с растворенными в них минеральными и органическими кислотами взаимодействуют с составляющими бетона, в ходе чего формируются легкорастворимые соли, вымываемые водой. Нерастворимые соединения: гидроксиды кремния и алюминия и другие, остаются на своем месте, но уже образуя рыхлую структуру камня;

в.) магниальная коррозия. В результате реакции обмена при участии солей магния, содержащихся в грунтовых водах, и гидроксида кальция, образуются легко вымываемые водой соли. Также вымывание гидроксида кальция ведет к гидролизу гидросиликатов цементного камня.

– коррозия III вида (сульфатная коррозия). Кристаллизация гидросульфата алюмината кальция (этtringита) в порах бетона.

– магниально-сульфатная коррозия. Сульфаты металлов реагируют не только с гидроксидом кальция, но и гидроалюминатами, гидросиликатами кальция.

– хлоридная коррозия. Разрушение цементного камня происходит под влиянием хлоридов и мороза. Также хлорид, попавший внутрь бетонного изделия, вызывает коррозию арматуры.

– коррозия, вызываемая щелочами цемента. При взаимодействии щелочей цемента с активным кремнеземом заполнителя, происходит расширение бетона, после появляются трещины.

Мероприятия, препятствующие выщелачиванию:

- снижение содержания  $\text{C}_3\text{S}$  в клинкере;
- введение гидравлических добавок;
- использование пуццолановых и шлакопортландцементов.

Мероприятия, препятствующие углекислой коррозии:

									Лист
									16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					



- устройство засыпки из карбонатных пород;
- использование глиноземистых и пуццолановых цементов.

Мероприятия, препятствующие кислотной коррозии:

– обработка бетона раствором кремнефтористой кислоты. Фторид кальция и гидроксид кремния образуют устойчивую пленку.

Мероприятия, препятствующие магниальной коррозии:

– использование пуццолановых цементов;

– повышение концентрации соли магния в цементном камне. Данная мера образует пленку гидроксида магния.

- повышение плотности и непроницаемости бетона.

Мероприятия, препятствующие коррозии щелочей цемента:

- исключение реакционноспособного кремнезема из заполнителей;
- введение тонкомолотых добавок;
- введение воздухововлекающих и гидрофобизирующих веществ.

Не смотря на принимаемые меры по защите бетона от коррозии, они носят временный характер, они лишь замедляют коррозию, и не могут полностью предотвратить деградацию материала, его старение на отдельных участках бетонной конструкции. Для того чтобы продолжить эксплуатацию конструкции и предотвратить ее разрушение, требуется ремонт конструкции. Ремонт производится по следующему принципу: производится удаление негодного для дальнейшей эксплуатации участка, путем выпиливая или зачистки части этой конструкции. Затем наносится вновь заливаемый бетон, на предварительной обработанную контактную поверхность основания.

### 1.3 Обработка контактной поверхности «старого» бетона.

Хорошее качество связи между вновь укладываемым бетоном и бетонным основанием является важным требованием для обеспечения эффективности их соединения [38]. Согласно Зильфвербранду, прочность и долговечность связи вновь заливаемого бетона и «старого» бетона-основания зависит от нескольких

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						17
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

факторов, каждый из которых действует с разной степенью влияния, и их можно разделить на три основные группы [49, 50].

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

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

Характеристики наложения и техника нанесения:

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

Условие окружающей среды:

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

Из этих факторов, Зильфвербранд [49, 50] выделил пять основных факторов: микротрещины, отсутствие слоя цементного молока, чистоту перед нанесением покрытия, процедуры уплотнения и отверждения.

Первые три параметра напрямую связаны с характеристиками подложки или старого бетона, которые могут быть изменены обработкой поверхности.

Наличие микротрещин является одним из важнейших факторов при скреплении 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

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

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.

Молоко на бетонной поверхности является слабым слоем и значительно снижает сцепление нового и старого бетона; его следует удалить перед ремонтом бетона.

Чистота покрытия перед нанесением также имеет важную роль. Поверхность контактной поверхности должна быть очищена и обеспылена, так как наличие пыли значительно снижает сцепление старого и нового бетона.

Обработка бетонного основания обычно используется для очистки, удаления слоя цементного молока и придания шероховатости поверхности. Однако это может вызвать микротрещины, если они не работают должным образом с точки зрения качества и прочности бетона [36].

Более того, на структуру свежего бетона влияет его близость к опалубке или заполнителям [37, 42]. Хорошая смачиваемость и растекаемость способствуют лучшему заполнению профиля бетонной поверхности ремонтным материалом [38]. 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. Следовательно, пропитанная бетонная основа с сухой поверхностью считается лучшим решением [36, 44].

Так же стоит отметить, что авторы не склоняются к выбору какого-то одного способа зачистки бетона, который бы выгодно отличался, будь это пескоструйная, гидроструйная обработка или шлифование [38, 40, 41]. 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

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						19
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

более агрессивная обработка, поскольку она значительно увеличивает профиль поверхности и улучшает механическое сцепление нового и старого бетонов [38].

Авторы заметили, что увеличение шероховатости поверхности раздела также вызывает высокую долю пустот из-за дефектов после обработки контактной поверхности, что является актуальной проблемой при проведении ремонтных работ. Следовательно, нужно использовать более подвижную ремонтную смесь, чтобы обеспечить лучшее проникновение смеси между пиками шероховатой поверхности [38].

Единственное в чем мнения авторов сходятся [38, 40, 41], так это недопустимость обработки старого бетона при помощи отбойного молотка, основной способ обработки бетона в XX веке. При его использовании образуются многочисленные микротрещины в теле бетона, что отрицательно влияет на соединение старого и нового бетонов.

Также стоит отметить, что мнения авторов разделились по поводу предварительного покрытия контактной поверхности бетона специальными связующими составами. Некоторые утверждают, что связующее покрытие вызывает дополнительную плоскость, 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 [44].

Разумно предположить, что механические свойства сцепления нового бетона в значительной степени зависят от сцепления нового бетона с ремонтируемой поверхностью [36, 40]. 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 изготовления бетона от нового к старому явно не представляют количественной взаимосвязи между механическими свойствами сцепления нового и старого бетона и межфазной

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

шероховатостью бетонной основы, и, следовательно, механизма влияния различной межфазной адгезии [41].

Адгезия между старым и новым бетоном до сих пор остается слабоизученной.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В современном строительстве для зданий и сооружений всех типов: будь то монолитные или сборно-монолитные, актуальна проблема соединения «старого» и «нового» бетона.

Соединения делятся на:

– технологический шов бетонирования – шов в месте контакта бетона разного возраста, обусловленный технологией производства бетонных работ [ТР 186-07].

– стык сборно-монолитных конструкций – соединение однородных элементов либо частей одного элемента.

Для определения прочности адгезии (сцепления) бетона вышеуказанных соединений, использована стандартная методика определения прочности сцепления раствора с основанием [9].

В тоже время, для определения прочности бетона в зоне технологического шва стандартных методик не существует. Поэтому для определения данных параметров использована методика испытаний бетона в зоне технологического шва описанная в работе [7].

Все испытываемые образцы, за исключением эксперимента на отрыв, делятся на 2 группы:

1. образцы первой группы – «новый» бетон укладывается через сутки после того, как в формы уложили слой «старого» бетона. Тем самым моделировались условия устройства рабочего (технологического) шва.

2. образцы второй группы – «новый» бетон укладывается через 28 суток после того, как в формы уложили слой «старого» бетона. Тем самым моделировались условия устройства стыка сборного-монолитной конструкции.

Эксперименты проводились при сотрудничестве с бетонным заводом «Символ-Бетон». В качестве основного состава (клинкерный бетон) был взят стандартный состав бетона класса В30, как самого распространенного в современных условиях.

										Лист
										22
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ

При экспериментах были использованы следующие составы цементных бетонов:

Таблица 1 – Характеристика клинкерного бетона. Класс В30.

Материалы	Вяжущее	Песок	Щебень	Вода	Добавка
Характеристики	Портландцемент марка 52,5	Песок белоярский	Фракция 5...20 мм	Фильтрованная	СП-1 ВП
Нормативный документ	ГОСТ 31108-2016. Цементы. Общестроительные. Технические условия	ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия	ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые	ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия	
Расход на 1м <sup>3</sup> , кг	420	770	1050	185	7

Таблица 2 – Характеристика шлакощелочного бетона

Материалы	Вяжущее	Песок	Щебень	Затворяющая жидкость	Добавка
Характеристики	Шлак	Песок белоярский	Фракция 5...20 мм	Водный раствор	СП-1 ВП
Нормативный документ	ТУ 38.32.22-012-99126491-2017. Шлак доменный гранулированный молотый	ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия	ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые	ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия	
Расход на 1м <sup>3</sup> , кг	425	750	1095	170	7





## Схема проведения эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на сжатие

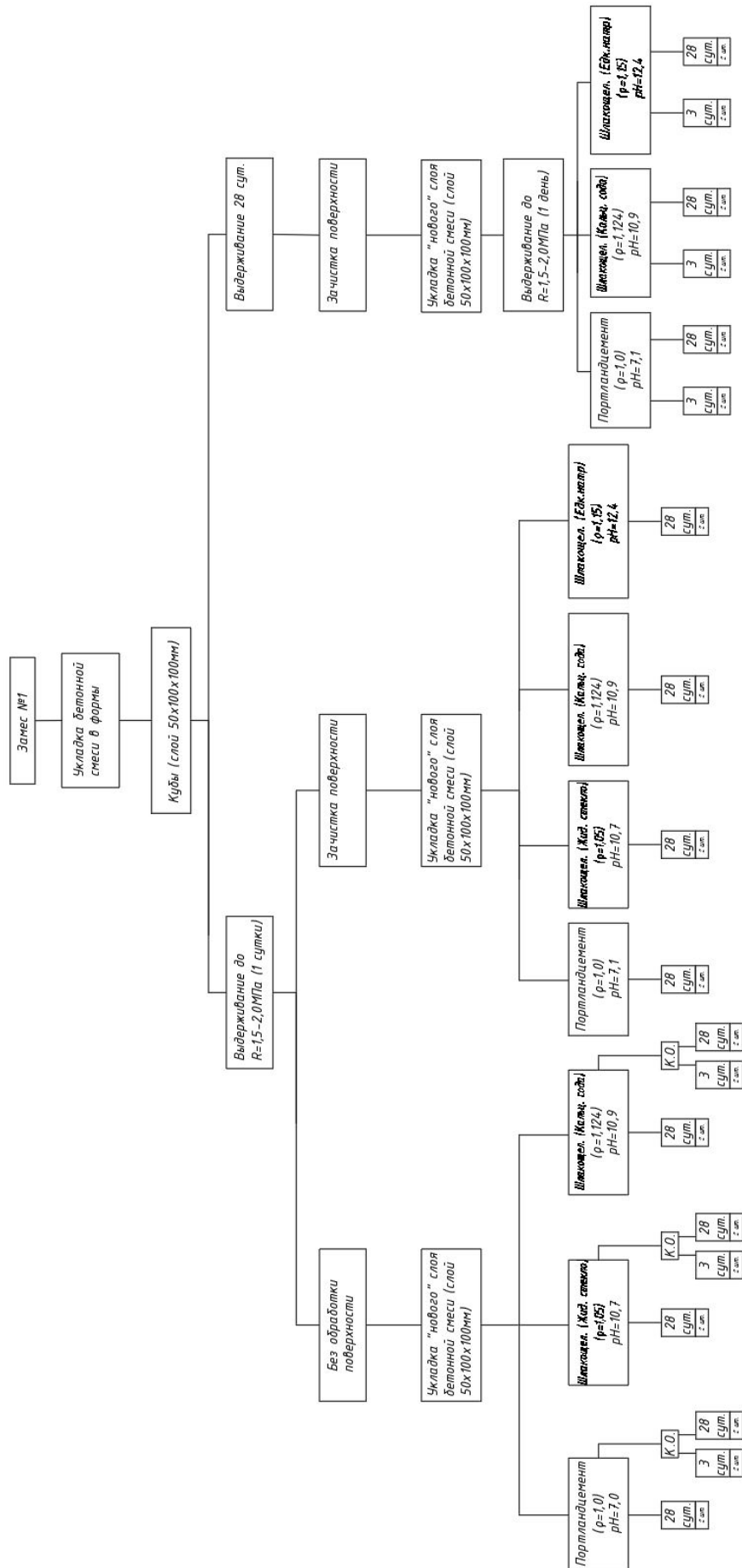


Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на сжатие

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

### 2.1.1. Средства испытания и вспомогательные устройства

В ходе проведения испытаний образцов использовались следующие средства и вспомогательные устройства:

- форма для бетона 2ФК-100. Двухгнездовая форма предназначена для изготовления образцов бетонных кубов размером 100x100x100 мм;

- фанерная перегородка 100x100x10 мм. Данная перегородка выполнена из опалубочной фанеры и используется для разделения внутреннего пространства формы 2ФК-100, тем самым, образуя полость для формования образца размером 50x100x100мм;

- силиконовый герметик «Момент». Данный герметик был использован, при проведении эксперимента, для герметизации стоков форм бетонных образцов. Благодаря чему, была исключена проблема вытекания «цементного молока» через щели и отверстия, имеющиеся внутри форм;

- виброплощадка – стационарная вибрационная установка для уплотнения бетонной смеси;

- щетка по металлу;

- угловая шлифовальная машина с чашечной щеткой и алмазным шлифовальным диском;

- пленка полиэтиленовая;

- весы электронные МЕХЭЛЕКТРОН-М ВЭТ-15-1/2;

- набор ареометров АОН-1 ГОСТ 18481-81;

- пресс испытательный MATEST C040N 1500/250 кН. Технические характеристики данного пресса представлены в таблице 1.

Таблица 4 – Технические данные пресса испытательного MATEST C040N 1500/250 кН

Наименование	Значение
Предел нагружения	1500 кН / 250 кН
Вертикальный просвет	336 мм
Диаметр нажимных пластин	216 мм

#### Окончание таблицы 4

Наименование	Значение
Ход поршня	55 мм
Скорость перемещения поршня	0...52 мм/мин
Параметры электропитания	230 В / 750 Вт
Габариты	630x350x1260 мм
Масса	не более 420 кг

#### 2.1.2. Изготовление образцов для испытания

Образцы для проведения испытаний изготавливаются в специальных формах 2ФК-100. Предварительно все формы были разобраны и зачищены при помощи УШМ и чашечной щетки для УШМ. После производилась сборка форм.

Проведен визуальный осмотр форм 2ФК-100. В ходе осмотра выявлены некоторые недостатки форм: обнаружены щели, в местах соединения деталей между собой, и отверстия, которые могли быть причиной вытекания бетонного молока и вымывания мелкого заполнителя из формы.

Щели и отверстия были загерметизированы при помощи силиконового герметика.

Затем внутрь каждой формы устанавливалась фанерная перегородка 100x100x10 мм. Предварительно на грани фанеры, имеющие контакт с бетонной формой, нанесен силиконовый герметик, для герметизации возможных зазоров между ними. Фанера делит форму на 2 полости: 50x100x100мм и 40x100x100мм.

В полость 40x100x100мм засыпается песок, чтобы исключить смещения и распор фанерной перегородки в процессе формования цементной смеси.

Произведено смазывание полостей 50x100x100мм форм 2ФК-100, для облегчения распалубочных работ.

После, произвели заполнение полостей 50x100x100мм форм 2ФК-100 портландцементом, предназначенные для испытуемых образцов. Также

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

параллельно с испытательными, были подготовлены и заполнены формы для контрольных образцов.

Все образцы укрываются полиэтиленовой пленкой, чтобы исключить испарение влаги и высушивание образцов.

Стоит отметить, что эксперимент подразумевает деление на 2 этапа:

– **Первый этап.** Рассматриваются образцы, в которых произведена укладка «нового» бетона после суток набора прочности (1,5 МПа).

– **Второй этап.** Подразумевается дозаполнение форм после 28 суток набора прочности образцов 50x100x100мм. После суток набора прочности (1,5 МПа), произведена распалубка форм 2ФК-100. Образцы перенесены в камеру нормального твердения.

### 2.1.3 Проведение испытаний. Первый этап

По прошествии суток набора прочности, производится подготовка образцов к укладке «нового» бетона в форму.

Из результатов полученных, в ходе эксперимента, описанного в работе [16] было выявлено, что зачищенная поверхность способствует лучшему проникновению вновь укладываемых составов, в отличие от контактных поверхностей, которые не были подвергнуты зачистке.

С целью проверки и уточнения полученных ранее данных, решено поделить образцы на 2 группы:

– **Группа №1.** К данной группе относятся образцы 50x100x100мм из портландцемента, контактная поверхность которых не зачищается перед укладкой «новой» цементной смеси. Произведено обеспыливание контактных поверхностей образцов путем смачивания водой. Затем образцы помещались обратно в предварительно подготовленные формы 2ФК-100.

– **Группа №2.** К данной группе относятся образцы 50x100x100мм из портландцемента, контактная поверхность которых зачищается перед укладкой «новой» цементной смеси. Зачистка производилась при помощи УШМ с чашечной стальной щеткой до появления крупного заполнителя. После,

										Лист
										28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

проведено обеспыливание контактных поверхностей образцов путем смачивания водой. Образцы помещались обратно в предварительно подготовленные формы 2ФК-100.

В качестве «нового» бетона используется 4 состава:

– состав №1 приведен в таблице 1. Портландцемент класс В30.

Затворяющая жидкость – вода (рН=7.1);

– состав №2 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор силиката натрия (рН=10.7);

– состав №3 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор карбоната натрия (рН=10.9);

– состав №4 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор гидроксида натрия (рН=12.4).

Формы поочередно помещаются на виброплощадку, где при включенном устройстве производится укладка бетонных форм.

После окончания процедуры укладки форм, все образцы в обязательном порядке накрываются полиэтиленовой пленкой, чтобы исключить «выход влаги».

Спустя сутки, после укладки «нового» бетона, проводятся распалубочные работы. Образцы убираются в камеру нормального твердения, где обеспечивается твердение образцов при относительной влажности  $65\pm 5\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

Спустя 28 суток, после изготовления бетонных образцов, производились испытания образцов на сжатие. Испытания проводились на базе завода «Символ–Бетон» при помощи прессы. Характеристики прессы приведены в таблице 4.

При испытаниях отмечался характер разрушения образцов.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

В ходе продолжения испытаний были получены следующие результаты:

Таблица 5 – Результаты эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на сжатие. Этап 1.

№ образца	Материал нового бетона/затворяющая жидкости	pH затворяющей жидкости	Возраст бетонного основания перед укладкой «нового» бетона, сут.	Зачистка	Форма	R28, (МПа)	Дата замеса	Дата испытания
1	КЛ	7.1	1	Н/З	50x100x100	54.466	29.09.2020	27.10.2020
2	КЛ	7.1	1	Н/З	50x100x100	52.55	29.09.2020	27.10.2020
3	КС	10.9	1	Н/З	50x100x100	42.062	29.09.2020	27.10.2020
4	КС	10.9	1	Н/З	50x100x100	38.575	29.09.2020	27.10.2020
5	ЖС	10.7	1	Н/З	50x100x100	26.233	29.09.2020	27.10.2020
6	ЖС	10.7	1	Н/З	50x100x100	12.154	29.09.2020	27.10.2020
7	КЛ	7.1	1	3	50x100x100	54.276	29.09.2020	27.10.2020
8	КЛ	7.1	1	3	50x100x100	46.930	29.09.2020	27.10.2020
9	КС	10.9	1	3	50x100x100	44.736	29.09.2020	27.10.2020
10	КС	10.9	1	3	50x100x100	42.126	29.09.2020	27.10.2020
11	ЖС	10.7	1	3	50x100x100	13.475	29.09.2020	27.10.2020
12	ЖС	10.7	1	3	50x100x100	19.1	29.09.2020	27.10.2020
13	ЕН	12.4	1	3	50x100x100	38.687	29.09.2020	27.10.2020
14	ЕН	12.4	1	3	50x100x100	43.151	29.09.2020	27.10.2020

Примечание к таблице 5:

КЛ – Клинкерный бетон (pH=7.1);

ЖС – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором силиката натрия (pH = 10.7);

КС – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором карбоната натрия (рН = 10.9);

ЕН – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором гидроксида натрия (рН = 12.4).

#### **2.1.4. Обработка результатов испытания. Этап 1**

##### **2.1.4.1 Испытания контрольных образцов 100x100x100. Этап 1.**

При испытания контрольных образцов 100x100x100мм на сжатие были получены следующие результаты:

Образцы состава №1 – средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 26.84 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 50.59 \text{ МПа}.$$

Образцы состава №2, затворенный водным раствором карбоната натрия – средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 2.46 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 15.88 \text{ МПа}.$$

Образцы состава №3, затворенный водным раствором силиката натрия – средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 4.676 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 29.57 \text{ МПа}.$$

Образцы состава №4, затворенный водным раствором гидроксида натрия – средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 22.1 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 41.36 \text{ МПа}.$$

График набора прочности контрольными образцами представлен на рисунке 2.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						31
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

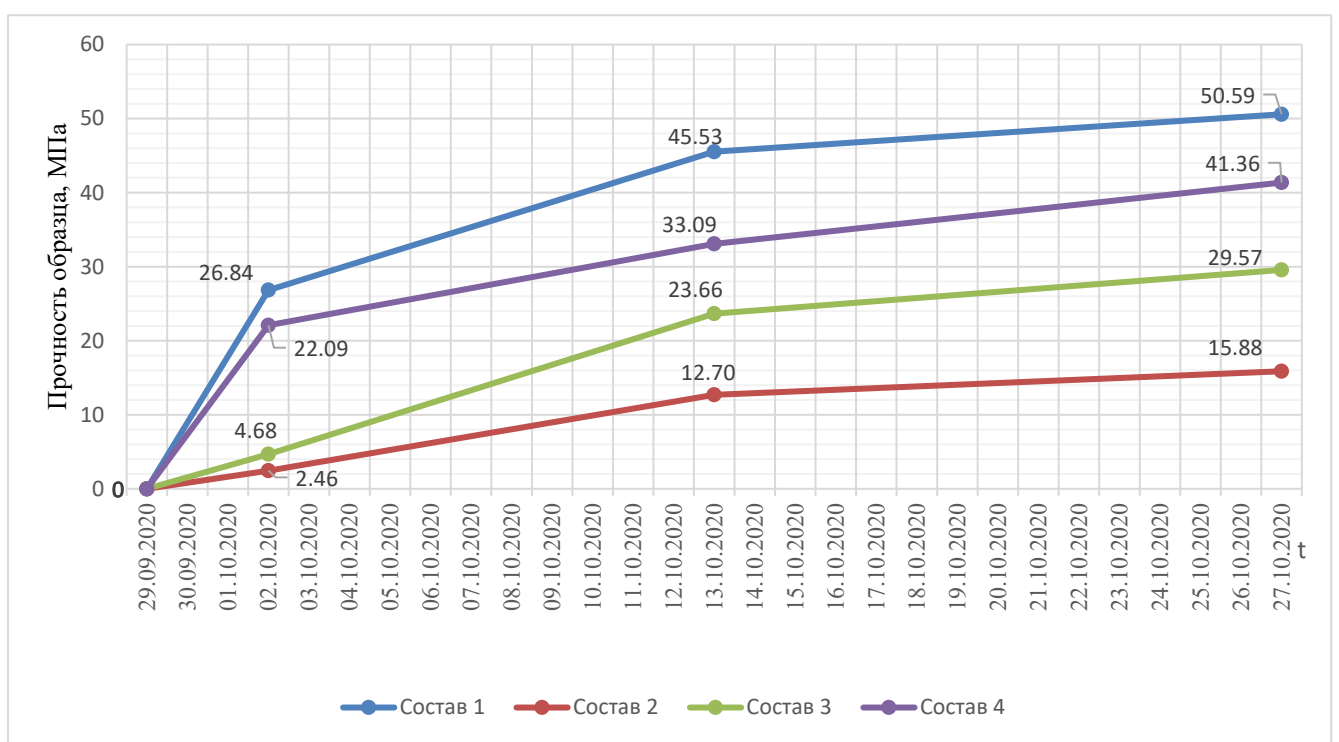


Рисунок 2 – График набора прочности контрольными образцами. 1 этап

### 2.1.4.2. Испытание образцов без предварительно зачищенной контактной поверхности с «новым» бетоном.

Определение прочности на сжатие комбинированных образцов после по истечении 28 суток выдерживания в камере нормального твердения производились на прессе (см. рисунок 3). Нагрузка прикладывалась вдоль слоев укладки и укладки бетонной смеси и вдоль плоскости рабочего шва.

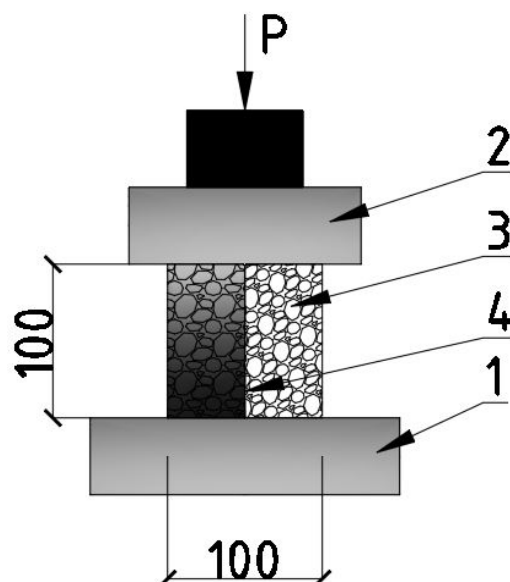


Рисунок 3 – Схема проведения испытаний бетонного кубика на сжатие в зоне технологического шва: 1 – опорная площадка прессы; 2 – рабочий шток прессы; 3 – испытываемый образец; 4 – плоскость рабочего шва

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата



Прочности бетона рабочего шва на сжатие определяют по формуле:

$$R_i = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

где  $P$  – максимальная нагрузка, при которой происходит разрушение образца, Н;

$S$  – площадь технологического шва, мм<sup>2</sup>.

Все единичные значения прочности округляются до 0.1 МПа.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $R$ , МПа, рассчитанные по формуле:

$$R = (R_1 + \dots R_n)/n, \quad (2)$$

где  $n$  – количество образцов в серии.

Среднеарифметические значения прочности округляются до 0.1 МПа.

При испытания образцов 100x100x100мм, без зачистки грани соприкосновения с «новым» бетоном, на сжатие были получены следующие результаты:

Для образцов типа КЛ-КЛ, средний показатель прочности составляет: 53,5 МПа.

Для образцов типа КЛ-КС, средний показатель прочности составляет: 40,3 МПа.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Для образцов типа КЛ-ЖС, средний показатель прочности составляет: 19,2 МПа.

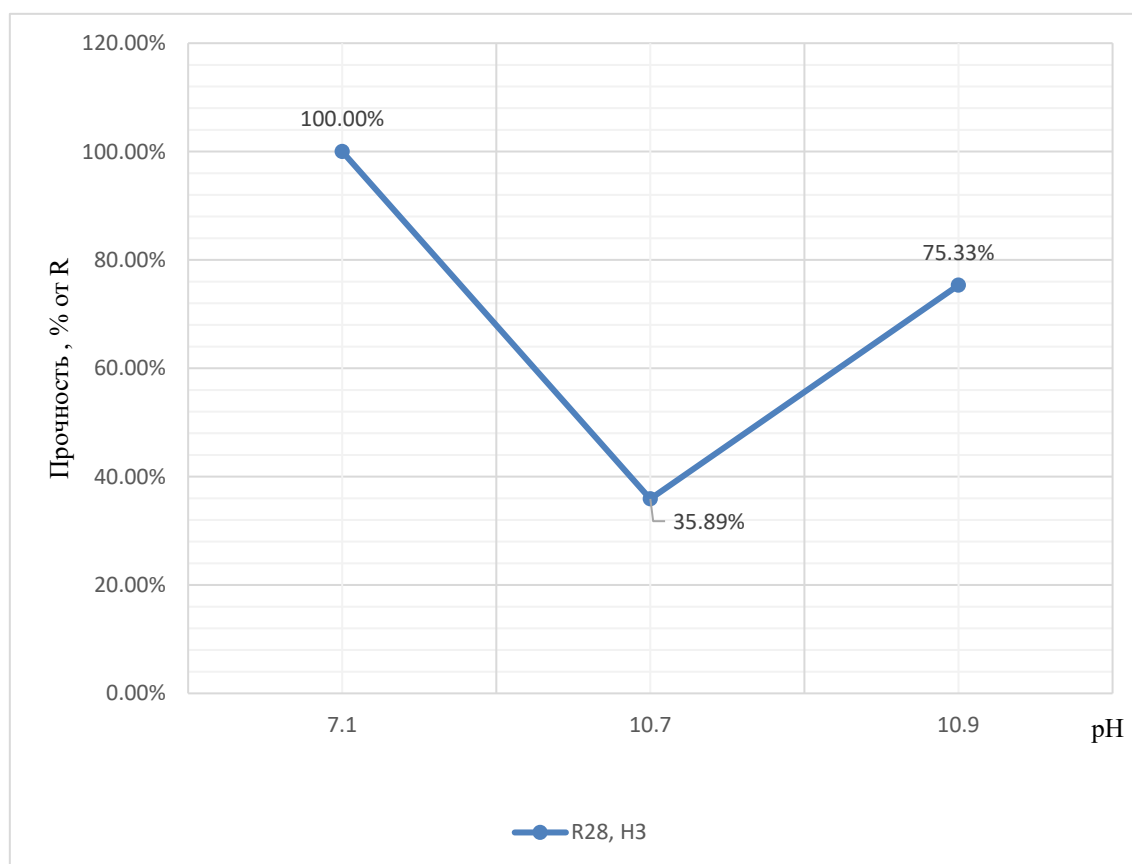


Рисунок 4 – График зависимости прочности бетона без зачистки контактной поверхности рабочего шва от уровня pH затворяющего раствора

В графике за 100% прочность R28 взят средний показатель максимальной прочности образца портландцемент-портландцемент.

Примечание:

КЛ-КЛ – комбинированные образцы портландцемент-портландцемент (клинкерный бетон);

КЛ-КС – комбинированные образцы портландцемент-карбонат натрия (кальцинированная сода);

КЛ-ЖС – комбинированные образцы портландцемент-силикат натрия (жидкое стекло).

### 2.1.4.3. Испытание образцов с предварительно зачищенными контактной поверхностью с «новым» бетоном.

Определение прочности на сжатие комбинированных образцов после по истечении 28 суток выдерживания в камере нормального твердения производились на прессе. Схема проведения испытаний бетонного кубика на сжатие в зоне технологического шва представлена на рисунке 3. Нагрузка прикладывалась вдоль слоев укладки и укладки бетонной смеси и вдоль плоскости рабочего шва.

Прочности бетона рабочего шва на сжатие определяют по формуле 1. Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $R$ , МПа, рассчитанные по формуле 2.

Среднеарифметические значения прочности округляются до 0.1 МПа.

При испытания образцов 100x100x100мм, без зачистки грани соприкосновения с «новым» бетоном, на сжатие были получены следующие результаты:

Прочность шва образцов типа КЛ-КЛ составляет: 50,6 МПа.

Прочность шва образцов типа КЛ-КС составляет: 43,4 МПа.

Прочность шва образцов типа КЛ-ЖС составляет: 16,3 МПа.

Прочность шва образцов типа КЛ-ЕН составляет: 40,9 МПа.

Примечание:

КЛ-КЛ – комбинированные образцы портландцемент-портландцемент (клинкерный бетон);

КЛ-КС – комбинированные образцы портландцемент-карбонат натрия (кальцинированная сода);

КЛ-ЖС – комбинированные образцы портландцемент-силикат натрия (жидкое стекло);

КЛ-ЕН – комбинированные образцы портландцемент-гидроксид натрия (едкий натр).

										Лист
										35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

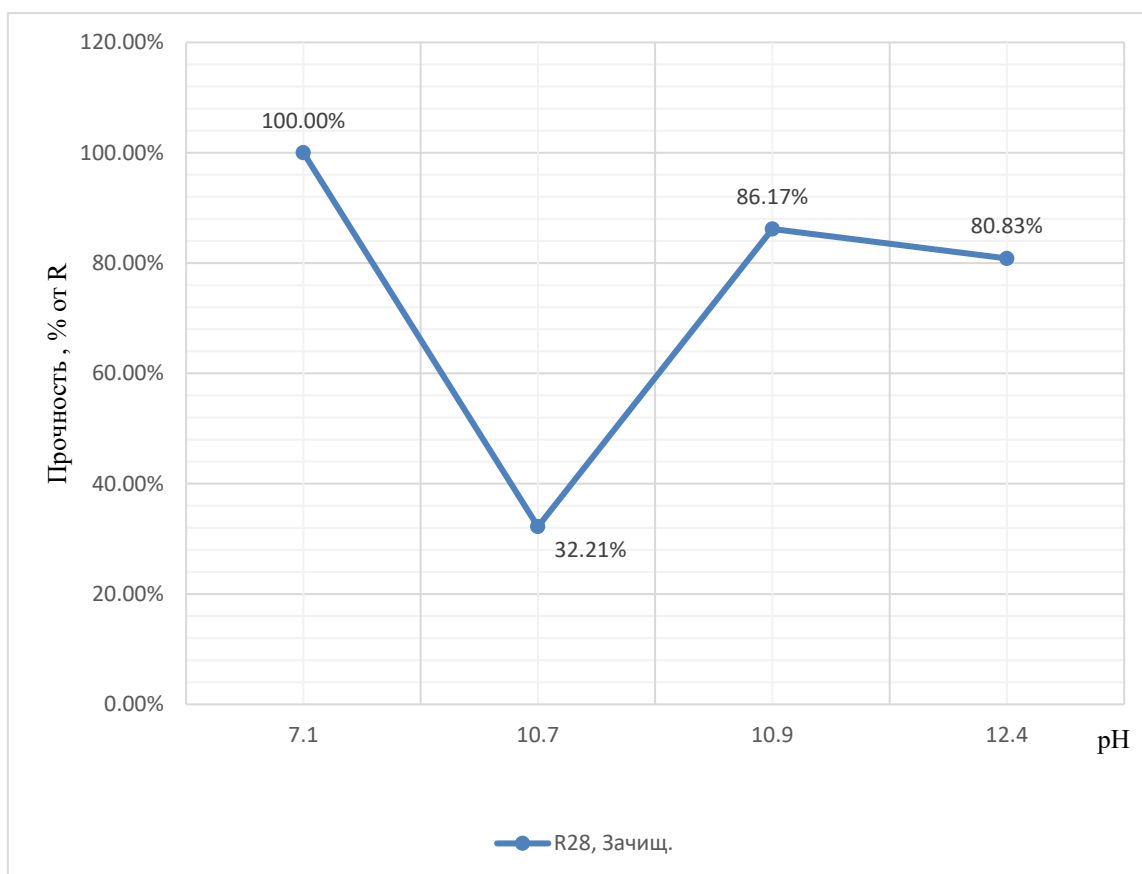


Рисунок 5 – График зависимости прочности бетона при зачистке контактной поверхности рабочего шва от уровня pH затворяющего раствора

В графике за 100% прочность R28 взят средний показатель максимальной прочности комбинированного образца портландцемент-портландцемент.

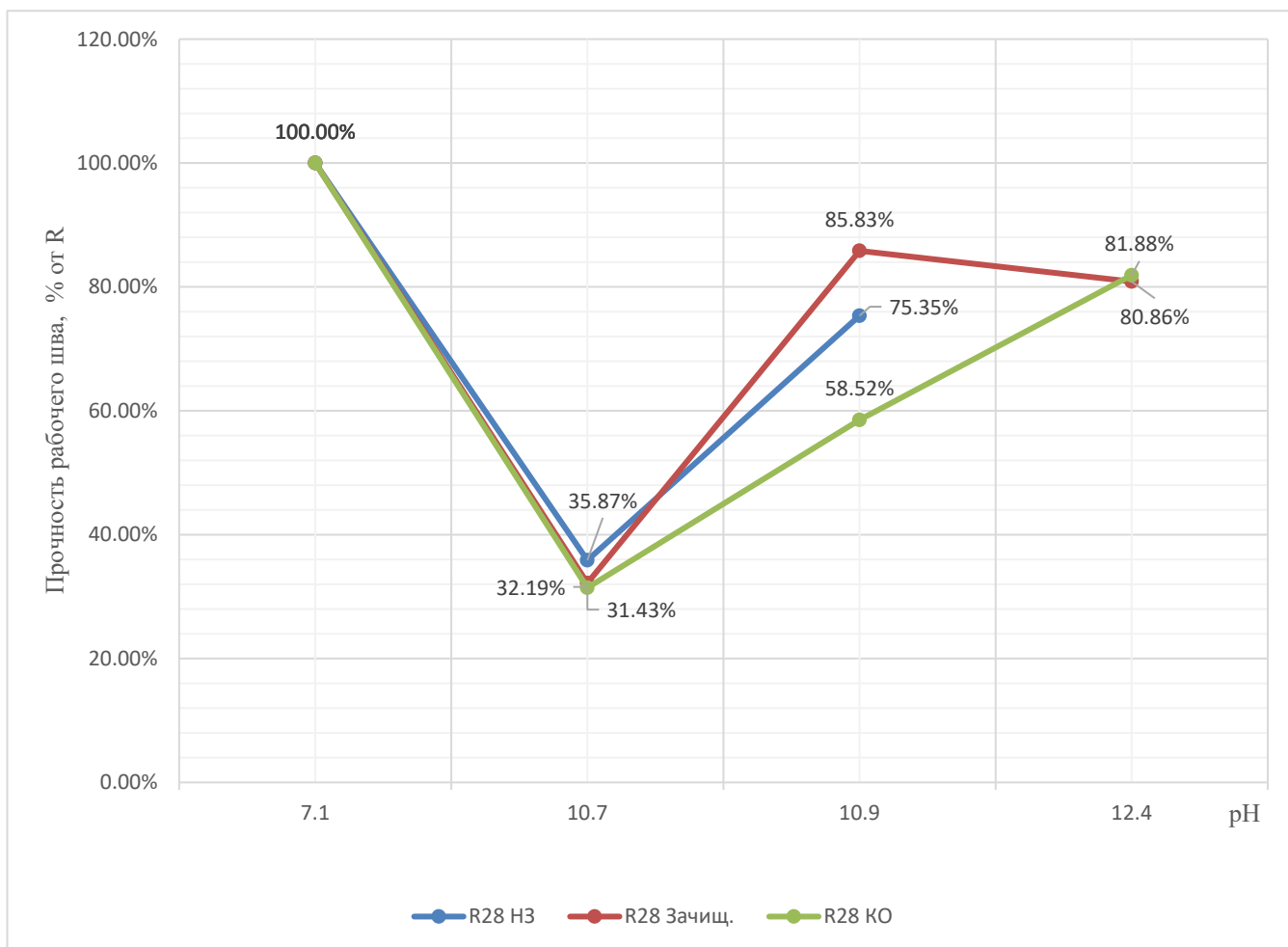


Рисунок 6 – График зависимости прочности бетона рабочего шва от зачистки контактной поверхности и уровня pH затворяющего раствора. Формат 1xR28

Формат 1xR28 подразумевает, что после выдерживания «старого» бетона в течение 1 суток, производится укладка с последующим испытанием образца на 28 сутки набора прочности.

В графике за 100% прочность R28 взят средний показатель максимальной нагрузки разрушения образца портландцемента.

В ходе проведения экспериментов, состава № 2 (шлакощелочной бетон, затворяемый водным раствором силиката натрия) отмечается низкая подвижность и удобоукладываемость. Состав мгновенно налипает на крупный заполнитель и образующего оболочку, что создает неудобство работы со смесью. Состав № 2, затворяемый водным раствором силиката натрия во втором экспериментальном этапе не участвовал.

### 2.1.5. Проведение испытаний. Этап 2.

По прошествии 28 суток набора прочности, производится подготовка образцов к укладке «нового» бетона в форму.

Образцы 50x100x100мм из портландцемента, контактная поверхность которых зачищается перед укладкой «новой» цементной смеси. Зачистка производилась при помощи алмазного шлифовального диска. После, проведено обеспыливание контактных поверхностей образцов. Образцы помещались обратно в предварительно подготовленные формы 2ФК-100.

В качестве «нового» бетона используется 3 состава:

- состав №1 приведен в таблице 1. Портландцемент класс В30. Затворяющая жидкость – вода (рН=7.1);
- состав №3 приведен в таблице 2. Шлакощелочная смесь. Затворяющая жидкость – водный раствор карбоната натрия (рН=10.9);
- состав №4 приведен в таблице 2. Шлакощелочная смесь. Затворяющая жидкость – водный раствор гидроксида натрия (рН=12.4).

Формы поочередно помещаются на виброплощадку, где при включенном устройстве производится дозаполнение бетонных форм.

После окончания процедуры дозаполнения форм, все образцы в обязательном порядке накрываются полиэтиленовой пленкой, чтобы исключить «выход влаги».

Спустя сутки, после укладки «нового» бетона, проводятся распалубочные работы. Образцы убираются в камеру нормального твердения, где обеспечивается твердение образцов при относительной влажности  $65\pm 5\%$  и температуре  $20\pm 2$  °С.

Спустя 28 суток, после изготовления бетонных образцов, производились испытания образцов на сжатие. Испытания проводились на базе завода «Символ-Бетон» при помощи прессы. Характеристики прессы приведены в таблице 4.

В ходе продолжения испытаний были получены следующие результаты, представленные в таблице 6.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						38
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Таблица 6 – Результаты эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на сжатие. Этап 2.

№ образца	Материал нового бетона/затворяющего раствора	pH затворяющей жидкости	Форма	R <sub>3</sub> , (МПа)	R <sub>28</sub> , (МПа)	Дата замеса	Дата испытания
23	КЛ	7,1	50x100x100	30.05	-	10.11.2020	13.11.2020
24	КЛ	7,1	50x100x100	28.81	-	10.11.2020	13.11.2020
25	КЛ	7,1	50x100x100	-	12.18	10.11.2020	08.12.2020
26	КЛ	7,1	50x100x100	-	50.39	10.11.2020	08.12.2020
27	КС	10,9	50x100x100	13.96	-	10.11.2020	13.11.2020
28	КС	10,9	50x100x100	9.97	-	10.11.2020	13.11.2020
29	КС	10,9	50x100x100	-	42.11	10.11.2020	08.12.2020
30	КС	10,9	50x100x100	-	37.9	10.11.2020	08.12.2020
31	ЕН	12,4	50x100x100	28.996	-	10.11.2020	13.11.2020
32	ЕН	12,4	50x100x100	25.09	-	10.11.2020	13.11.2020
33	ЕН	12,4	50x100x100	-	49.28	10.11.2020	08.12.2020
34	ЕН	12,4	50x100x100	-	46.83	10.11.2020	08.12.2020

Примечание к таблице 6:

КЛ – Клинкерный бетон (pH=7.1);

КС – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором карбоната натрия (pH = 10.9);

ЕН – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором гидроксида натрия (pH = 12.4).

## 2.1.6. Обработка результатов испытания. Этап 2

### 2.1.6.1. Проведения испытаний контрольных образцов 100x100x100.

#### Этап 2.

При испытания контрольных образцов 100x100x100мм на сжатие были получены следующие результаты (см. рисунок 7):

Образцы состава №1 – средний показатель прочности составляет:

R<sub>3</sub> = 28.83 МПа;

R<sub>28</sub> = 56.12 МПа.

										Лист
										39
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

Образцы состава №3, затворенный водным раствором карбоната натрия – средний показатель максимальной нагрузки составляет:

$$R_3 = 3.27 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 36.39 \text{ МПа}.$$

Образцы состава №4, затворенный водным раствором гидроксида натрия – средний показатель максимальной нагрузки составляет:

$$R_3 = 16.32 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 40.43 \text{ МПа}.$$

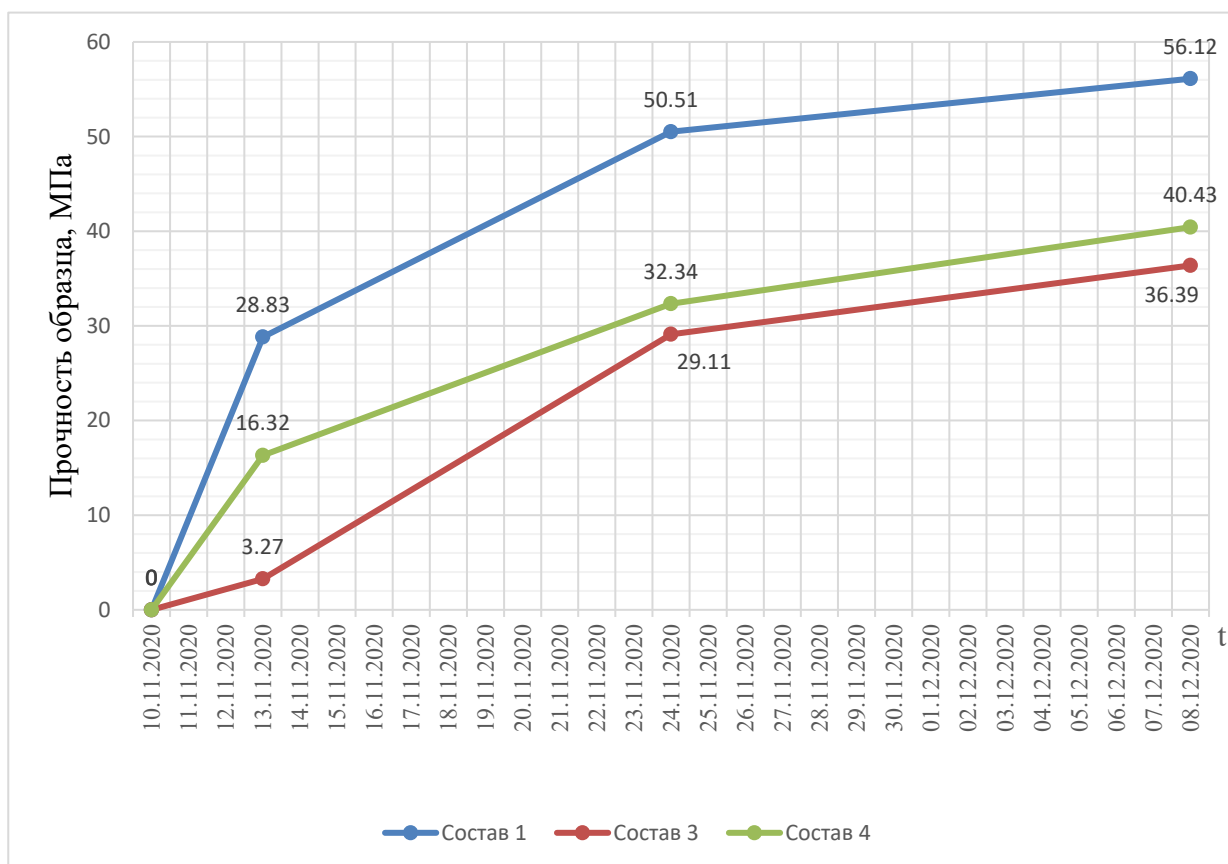


Рисунок 7 – График набора прочности контрольными образцами. 2 этап

### 2.1.6.2. Проведения испытаний образцов с предварительно зачищенными контактной поверхности с «новым» бетоном. Этап 2.

Определение прочности на сжатие комбинированных образцов после по истечении 28 суток выдерживания в камере нормального твердения производились на прессе. Нагрузка прикладывалась вдоль слоев укладки и укладки бетонной смеси и вдоль плоскости рабочего шва.



Схема проведения испытаний бетонного кубика на сжатие в зоне технологического шва представлена на рисунке 3.

Прочности бетона рабочего шва на сжатие определяют по формуле 1.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $R$ , МПа, рассчитанные по формуле 2.

Среднеарифметические значения прочности округляются до 0.1 МПа.

При испытания образцов 100x100x100мм, без зачистки грани соприкосновения с «новым» бетоном, на сжатие были получены следующие результаты:

Для образцов типа КЛ-КЛ, средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 29,4 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 31,3 \text{ МПа}.$$

Для образцов типа КЛ-КС, средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 12,0 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 40,0 \text{ МПа}.$$

Для образцов типа КЛ-ЕН, средний показатель прочности составляет:

$$R_3 = 27,0 \text{ МПа};$$

$$R_{28} = 48,1 \text{ МПа}.$$

Результаты испытаний представлены на графиках (см. рисунки 8, 9).

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

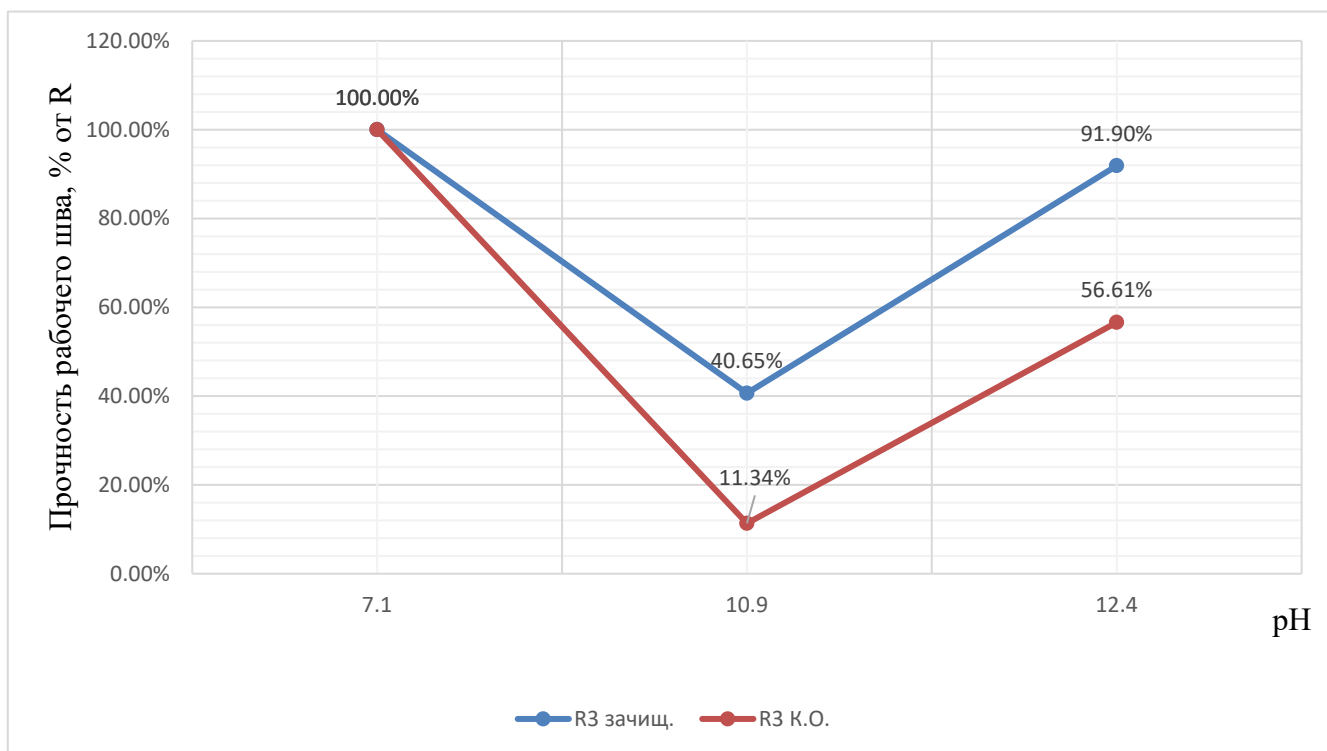


Рисунок 8 – График зависимости прочности бетона рабочего шва с зачисткой контактной поверхности от уровня pH затворяемого раствора. Формат 28xR3

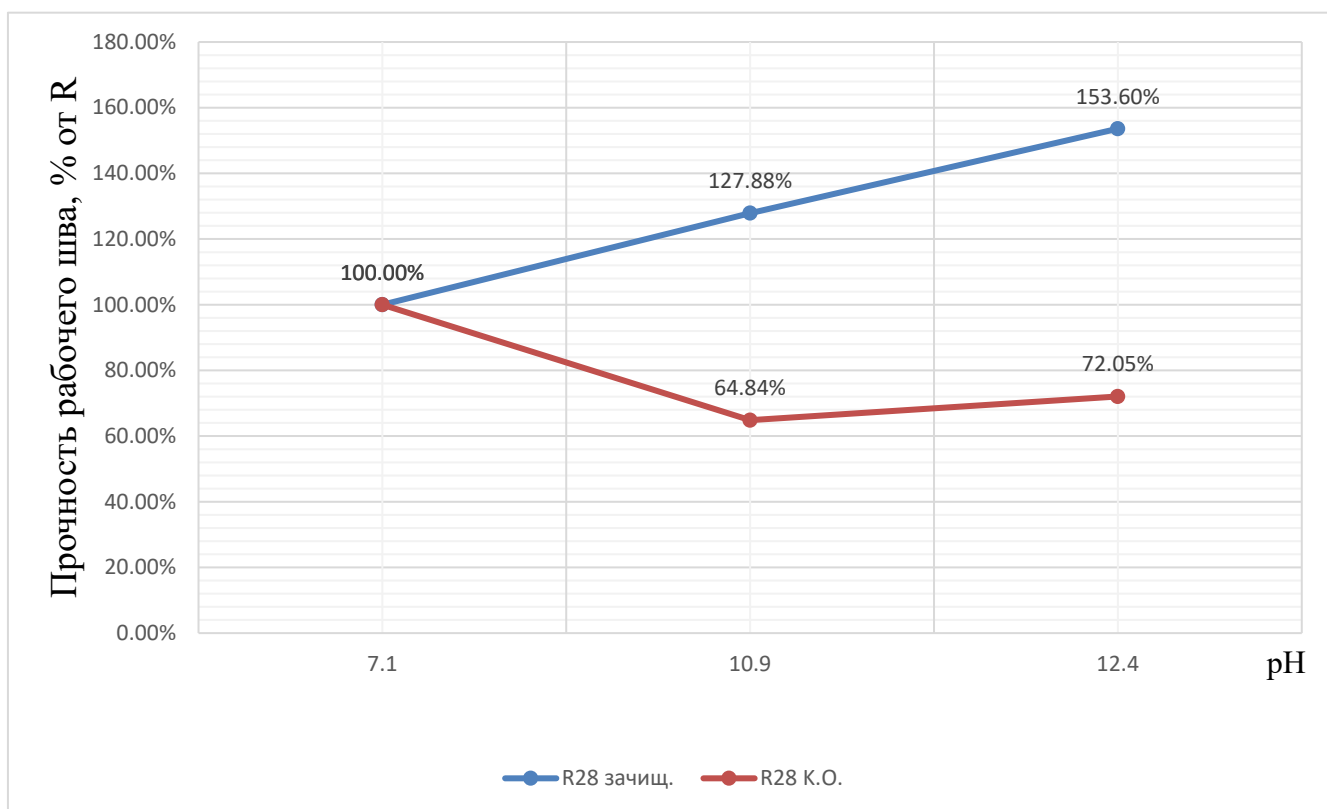


Рисунок 9 – График зависимости прочности бетона рабочего шва с зачисткой контактной поверхности от уровня pH затворяемого раствора. Формат 28xR28

Формат 28xR3 подразумевает, что после выдерживания «старого» бетона в течение 28 суток, производится укладка с последующим испытанием образца на 3 сутки набора прочности.

Формат 28xR28 подразумевает, что после выдерживания «старого» бетона в течение 28 суток, производится укладка с последующим испытанием образца на 28 сутки набора прочности.

**Вывод.** При сравнении результатов испытаний сделаем вывод: материал «нового» бетона и рН затворяющего раствора влияют на прочность технологического шва. Это связано с тем, что вновь укладываемый слой портландцемента не может достаточно глубоко проникнуть в «старый» бетон, в отличие от шлакощелочных бетонов, у которых уровень рН затворяемого раствора выше, чем у портландцемента. Это объясняется тем, что с увеличением уровня рН возрастает активность молекул водорода, что способствует более глубокому проникновению в «старый» бетон. Теория, выдвинутая в работе [14] подтвердилась.

Результаты, полученные в ходе проведения этапа 2. Разрушение всех образцов вне зависимости от R3 или R28 произошло по рабочему шву, лишь после следует разрушение «половинок» образцов; но проникающая способность «нового» бетона в «старый» повышается с увеличением уровня рН затворяющего раствора.

Из результатов этапа 1 выявлено: наличие или отсутствие зачистки рабочего шва не повлияла на прочность соединения контактной поверхности и вновь укладываемого бетона. Однако, стоит отметить факт: разрушение образцов шлакощелочного бетона, затворенного водным раствором карбонатом натрия (рН=10,9) и гидроксида натрия (рН=12,4), происходит **не по технологическому шву.**

**Резюмируем:** прочность технологического шва зависит от материала и уровня рН затворяющего раствора.

										Лист
										43
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

## 2.2. Определение прочности бетона технологического шва при испытании на срез.

Эксперимент опирается на работы [7, 16].

Прочность бетона технологического шва определяется для затвердевших растворов.

Прочность бетона в зоне технологического шва определяется по силе разрушения образцов при испытании на срез, производимых при помощи пресса. Схема испытания представлена на рисунке 10.

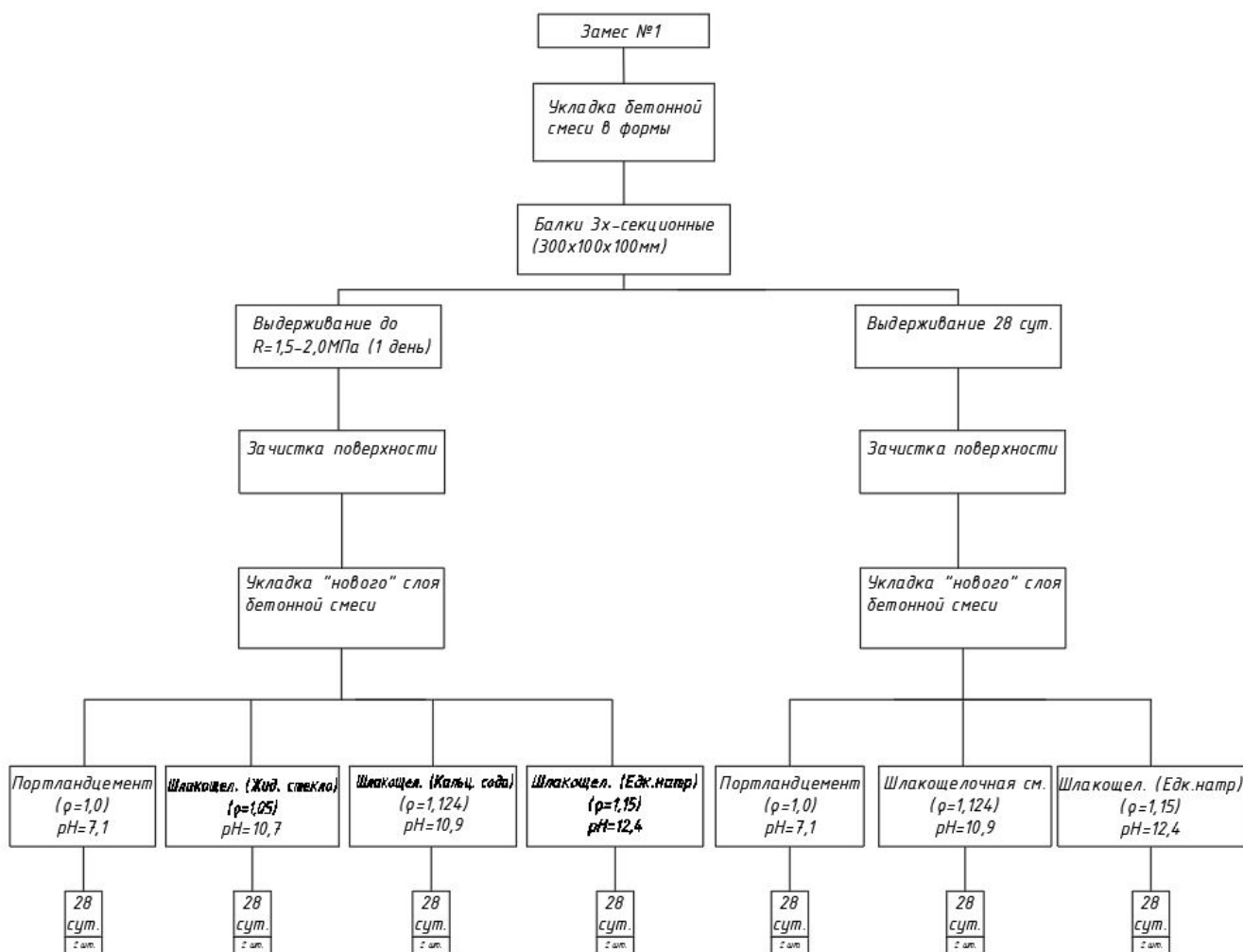


Рисунок 10 – Схема проведения эксперимента на срез

Эксперимент делится на 2 этапа:

1.) Формат 1/R28. Укладка «нового» бетона по прошествии 1 суток после заливки и выдерживании «старого» бетона в течение 28 суток.



15. 2 этап. Распалубка форм. Образцы убираются для твердения в камере нормального твердения.

16. 2 этап. На 28 сутки после заливки нового бетона производятся испытания образцов.

17. 2 этап. Производится обработка результатов и делаются выводы.

### 2.2.1. Средства испытания и вспомогательные устройства

Для проведения испытаний используются следующие средства и вспомогательные устройства:

- форма для бетона ЗФК-100. Трехгнездовая форма предназначена для изготовления образцов бетонных кубов размером 100x100x100 мм или 300x100x100 мм;

- силиконовый герметик «Момент». Данный герметик был использован, при проведении эксперимента, для герметизации стоков форм бетонных образцов. Благодаря чему, была исключена проблема вытекания «бетонного молока» через щели и отверстия, имеющиеся внутри форм;

- виброплощадка;

- щетка по металлу;

- угловая шлифовальная машина с чашечной щеткой и алмазным шлифовальным диском;

- пленка полиэтиленовая;

- весы электронные МЕХЭЛЕКТРОН-М ВЭТ-15-1/2;

- весы электронные MASSA-K BK-300.1;

- пресс испытательный SHENLI WAW-600kH;

- набор ареометров АОН-1 ГОСТ 18481-81.

Таблица 7 – Технические данные прессы испытательного SHENLI WAW-600kH.

Наименование	Значение
Предел нагружения	600 кН
Класс точности	±0.5%/±1.0%

Окончание таблицы 7

Точность испытательной нагрузки	±0.5%/±1.0%
Точность деформации	±0.5%/±1.0%
Точность смещения	±0.5%/±1.0%
Диапазон измерения деформации	1%~100 F F*S
Диапазон нагрузки (кН)	1%~100 F F*S
Вертикальный просвет	620 мм
Диаметр нажимных пластин	128 мм
Ход поршня	250 мм
Скорость перемещения поршня	0...52 мм/мин
Параметры электропитания	380 В / 3 кВт
Габариты	770x660x2300 мм
Масса	2500 кг

### 2.2.2. Изготовление образцов для испытания

Образцы для проведения испытаний изготавливаются в специальных формах ЗФК-100. Предварительно все формы были разобраны и зачищены при помощи УШМ и чашечной щетки для УШМ. После производилась сборка форм.

Проведен визуальный осмотр форм ЗФК-100. В ходе осмотра выявлены некоторые недостатки: обнаружены щели, в местах соединения деталей между собой, и отверстия, которые могли быть причиной вытекания цементного молока и вымывания мелкого заполнителя из формы.

Щели и отверстия были загерметизированы при помощи силиконового герметика.

Произведено смазывание полостей 100x100x100мм форм ЗФК-100, для облегчения распалубочных работ.

После происходило приготовление цементных растворов, каждого состава по очередности.

						Лист
						47
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	

Заполнялись боковые полости 100x100x100мм форм ЗФК-100 портландцементом. Также параллельно с испытательными, были подготовлены и заполнены формы для контрольных образцов.

Все образцы укрываются полиэтиленовой пленкой, чтобы исключить испарение влаги и высушивание образцов.

Стоит отметить, что эксперимент подразумевает деление на 2 этапа:

– **Первый этап.** Рассматриваются образцы, к которым произведена укладка «нового» бетона после суток набора прочности (по достижении 1,5 МПа).

– **Второй этап.** Подразумевается дозаполнение форм после 28 суток набора прочности образцов 100x100x100мм.

После набора прочности в 1,5 МПа (1 сутки), произведена распалубка форм ЗФК-100.

Образцы, относящиеся к 2 этапу, были перенесены в камеру нормального твердения, где хранились, при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной влажности  $95\pm 5\%$ , в течение 28 суток до заливки «нового» бетона.

У образцов, относящихся к 1 этапу эксперимента, производилась зачистка контактных поверхностей, которые будут взаимодействовать с вновь залитым цементным составом, при помощи УШМ со стальной чашечной щеткой до появления крупного заполнителя.

После проведения слесарной подготовки, производилось обеспыливание контактных поверхностей образцов. Затем образцы помещались в формы ЗФК-100, где были убраны внутренние перегородки.

Производится заполнение центральной полости форм. Образцы укрываются полиэтиленовой пленкой и хранятся при температуре  $20\pm 2$  °С и относительной влажности  $65\pm 5\%$ , чтобы исключить испарение влаги и растрескивания бетона.

После набора прочности в 1,5 МПа (1 сутки), произведена распалубка форм ЗФК-100. Образцы были перенесены в камеру нормального твердения, где

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						48
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		





В качестве «нового» бетона используется 4 состава:

– Состав №1 приведен в таблице 1. Портландцемент класс В30.

Затворяющая жидкость – вода (рН=7.1);

– Состав №2 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор силиката натрия (рН=10.7);

– Состав №3 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор карбоната натрия (рН=10.9);

– Состав №4 приведен в таблице 2 и 3. Шлакощелочная смесь.

Затворяющая жидкость – водный раствор гидроксида натрия (рН=12.4).

Образец устанавливался на 2 пластины, размером 100x100x20мм. Сверху по центру накладывалась такая же пластина. Схема проведения испытаний представлена на рисунке 11. Нагрузка прикладывалась вдоль плоскости технологического шва.

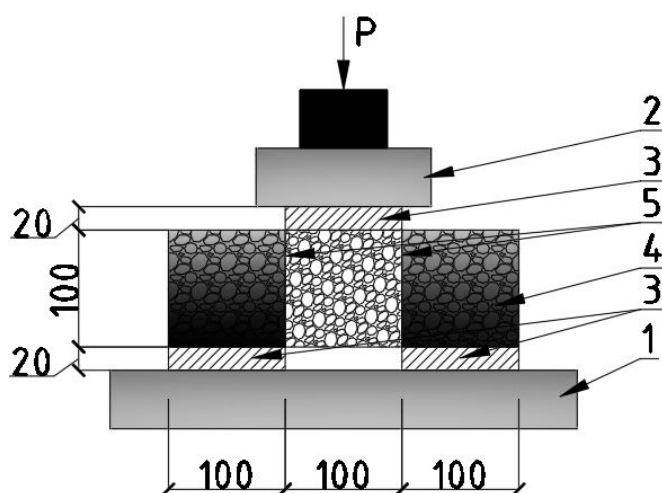


Рисунок 11 – Схема проведения испытаний бетонной балочки на срез в зоне технологического шва: 1 – опорная площадка пресса; 2 – рабочий шток пресса; 3 – металлическая пластина размером 100x100x20мм; 4 – испытываемый образец-балка; 5 – плоскости среза

В ходе проведения испытаний на срез получены следующие данные, представленные в таблице 8.

Таблица 8 – Результаты эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на срез. Этап 1.

№ образ-ца	Материал нового бетона/затворяемой жидкости	pH затворяемой жидкости	Выдерживание перед заливкой "нового" бетона. суток	Зачистка	Форма	R28, (МПа)	Дата замеса	Дата испытания
15	КЛ	7.1	1	3	300x100x100	0.324	28.09. 2020	27.10.2020
16	КЛ	7.1	1	3	300x100x100	0.117	28.09. 2020	27.10.2020
17	КС	10.9	1	3	300x100x100	0.076	28.09. 2020	27.10.2020
18	КС	10.9	1	3	300x100x100	0.05	28.09. 2020	27.10.2020
19	ЖС	10.7	1	3	300x100x100	0.055	28.09. 2020	27.10.2020
20	ЖС	10.7	1	3	300x100x100	0.182	28.09. 2020	27.10.2020
21	ЕН	12.4	1	3	300x100x100	0.218	28.09. 2020	27.10.2020
22	ЕН	12.4	1	3	300x100x100	0.772	28.09. 2020	27.10.2020

Примечание к таблице 8:

КЛ – Клинкерный бетон (pH=7.1);

ЖС – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором силиката натрия (pH = 10.7);

КС – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором карбоната натрия (pH = 10.9);

ЕН – Шлакощелочной бетон, затворенный водным раствором гидроксида натрия (pH = 12.4).

#### 2.2.4. Обработка результатов испытания. Этап 1

Прочности бетона рабочего шва на срез определяют по формуле 1.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $R$ , МПа, рассчитанные по формуле 2.

Среднеарифметические значения прочности округляются до 0.1 МПа.



собой комбинацию двух кубиков размером 100x100x100мм «старого» клинкерного бетона по бокам и «нового» бетонного кубика по центру, размером 100x100x100мм.

В качестве «нового» бетона используется 4 состава:

– состав №1 приведен в таблице 1. Портландцемент класс В30. Затворяющая жидкость – вода (рН=7.1);

– состав №3 приведен в таблице 2. Шлакощелочная смесь. Затворяющая жидкость – водный раствор карбоната натрия (рН=10.9);

– состав №4 приведен в таблице 2. Шлакощелочная смесь. Затворяющая жидкость – водный раствор гидроксида натрия (рН=12.4).

Образец устанавливался на 2 пластины, размером 100x100x20мм. Сверху по центру накладывалась такая же пластина. Схема проведения испытаний представлена на рисунке 11. Нагрузка прикладывалась вдоль плоскости технологического шва.

В ходе проведения испытаний на срез получены следующие данные:

Таблица 9 – Результаты эксперимента по определению прочности бетона технологического шва на срез. Этап 2.

№ образца	Материал нового бетона/затворяемой жидкости	рН затворяемой жидкости	Выдерживание перед заливкой "нового" бетона, суток	Зачистка	Форма	R28, (МПа)	Дата замеса	Дата испытания
35	ЕД	12,4	28	3	300x100x100	2.35	10.11.2020	08.12. 2020
36	ЕД	12,4	28	3	300x100x100	3.16	10.11.2020	08.12. 2020
37	КС	10,9	28	3	300x100x100	-	10.11.2020	08.12. 2020
38	КС	10,9	28	3	300x100x100	-	10.11.2020	08.12. 2020
39	КЛ	7,1	28	3	300x100x100	0.6	10.11.2020	08.12. 2020
40	КЛ	7,1	28	3	300x100x100	1.33	10.11.2020	08.12. 2020

Примечание к таблице 9:

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					53

КЛ – Клинкерный бетон (рН=7.1);

КС – Шлакощелочной бетон на основе кальцинированной соды (рН = 10.9);

ЕН – Шлакощелочной бетон на основе едкого натра (каустическая сода) (рН = 12.4).

Стоит отметить, образцы 37 и 38 были повреждены в ходе распалубливания форм ЗФК-100.

### 2.2.6. Обработка результатов испытания. Этап 2

Прочности бетона рабочего шва на срез определяют по формуле 1.

Все единичные значения прочности округляются до 0.1 МПа.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $R$ , МПа, рассчитанные по формуле 2.

Среднеарифметические значения прочности округляются до 0.1 МПа.

При испытания образцов 300x100x100мм на срез по технологическому шву, были получены следующие результаты:

Прочность шва образцов типа КЛ-КЛ составляет: 1,0 МПа.

Прочность шва образцов типа КЛ-ЕН составляет: 2,8 МПа.

Характер зависимости прочности рабочего шва от рН затворяемой жидкости представлен на рисунке 13.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						54
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

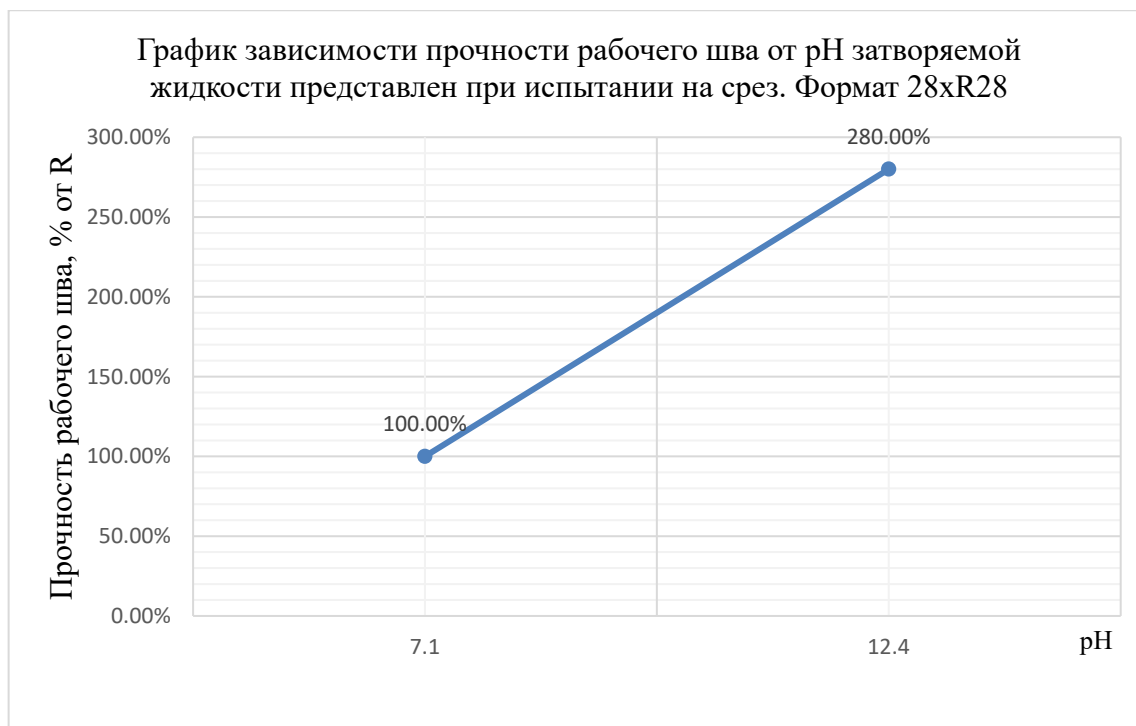


Рисунок 13 – График зависимости прочности рабочего шва от уровня рН затворяемого раствора при испытании на срез. Формат 28xR28

Формат 28xR28 подразумевает, что после выдерживания «старого» бетона в течение 2 суток, производится укладка с последующим испытанием образца на 28 сутки набора прочности.

**Вывод.** При сравнении результатов испытаний сделаем вывод: материал «нового» бетона и рН затворяющего раствора влияют на прочность технологического шва.

У шлакощелочных бетонов скорость набора прочности зависит от уровня рН затворяющего раствора. Низкие показатели образцов (1 этап) шлакощелочного бетона, затворенных водными растворами силиката натрия (рН=10,7) и карбоната натрия (рН=10,9), обусловлены более медленной кинетикой набора прочности по сравнению с портландцементом [6]







5.) На 28 сутки набора прочности производятся испытания образцов на отрыв.

6.) Производится обработка результатов и делаются выводы.

### 2.3.1. Средства испытания и вспомогательные устройства.

В качестве основания в эксперименте используется бетонная плита, выполненная из портландцемента класса В30 (состав №1, см. таблицу 1), изготовленная в соответствии с ГОСТ [9].

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. Данных трафаретов было изготовлено в количестве 8 штук.

Металлический шпатель.

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.

В качестве связующего вещества между бетонным образцом и стальным штампом 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).

Камера нормального твердения, обеспечивающая твердение образцов при относительной влажности  $65\pm 5\%$  и температуре  $20\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Для проведения испытаний на отрыв, для захвата анкерной части штампа и обеспечения нагружения, были использованы следующие установки: ОНИКС-

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						58
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

1.ОС.050 (на базе завода «Символ-Бетон») и ОНИКС-1.ОС.100 (на базе НИУ ЮУрГУ – Лаборатория АСИ).

### 2.3.2. 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, что, в нашем случае, недопустимо, так как образец бракуется и производится заливка нового цилиндра в форму.

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

Для испытаний было залито 15 образцов: по 5 штук на каждый состав цементной смеси.

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  $65\pm 5\%$ .

Общее время набора прочности составило 28 суток.

### 2.3.3. Проведение испытаний

По прошествии 27 суток, после укладки цементных смесей на бетонную плиту-основание, произведена зачистка грани образца, предназначенной для наклеивания штампа, при помощи щетки по металлу и УШМ («болгарки»). Стоит отметить, что в результате зачистки был поврежден образец шлакощелочного бетона на основе едкого натра. Принято решение производить испытания по

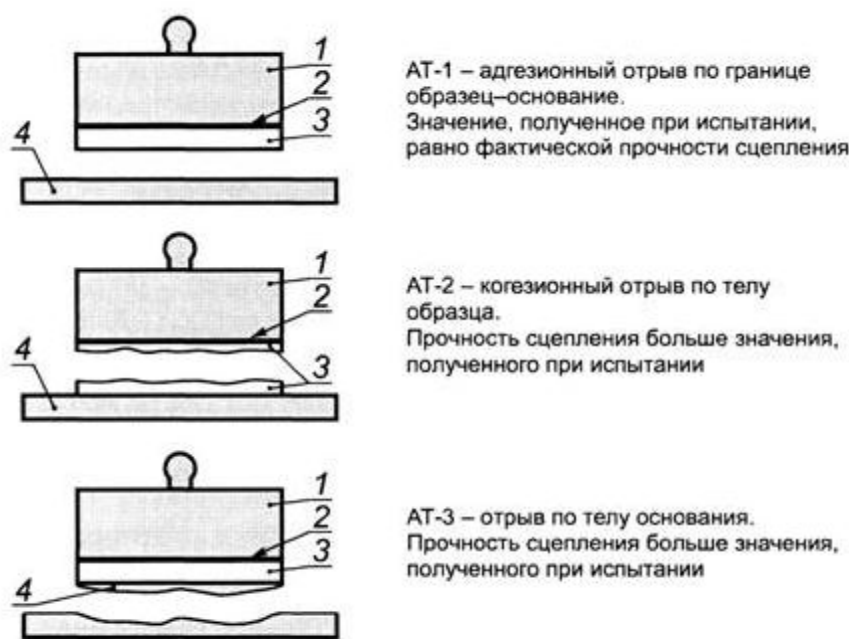
									Лист
									59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

сериям в формате 3x4, вместо 3x5; где 3 – количество составов, а 4 и 5 – количество образцов испытываемых бетонов.

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  $65 \pm 5\%$  еще на 24 часа, до полного высыхания клея.

На 28 сутки эксперимента, произвели испытания образцов на силу отрыва от бетонной плиты-основания.

При испытании отмечались характеры отрыва образцов от плиты-основания (см. рисунок 16).



1 - металлический штамп; 2 - клей; 3 - образец; 4 - бетонная плита (основание)

Рисунок 16 – Варианты отрыва образца от основания

Для образцов шлакощелочного бетона на основе раствора кальцинированной соды ( $pH=10,9$ ) характерен вариант отрыва AT-1. Для образцов из портландцемента ( $pH=7,1$ ) и шлакощелочного бетона на основе раствора едкого натра ( $pH=12,4$ ) характерен вариант отрыва AT-3.

В ходе проведения испытаний были получены следующие результаты, представленные в таблице 10.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

Таблица 10 – Результаты эксперимента на определение силы отрыва образцов «нового» бетона от основания.

№	Материал нового бетона/затворяющей жидкости	pH затворяющей жидкости	Выдерживание образцов, сут	F28, (кгс)	Параметры испытываемого образца	Дата замеса	Дата испытания	Примечание
"Графареты"								
1	КЛ	7,1	28	88,2	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
2	КЛ	7,1	28	-	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	Образец поврежден
3	КЛ	7,1	28	-	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	Образец поврежден
4	КЛ	7,1	28	86,4	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
1	КС	10,9	28	63,0	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
2	КС	10,9	28	33,2	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
3	КС	10,9	28	20,4	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
4	КС	10,9	28	50,8	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
1	ЕН	12,4	28	98,1	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
2	ЕН	12,4	28	138,6	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
3	ЕН	12,4	28	101,3	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	
4	ЕН	12,4	28	59,8	Цилиндр: ø50мм x 10мм	10.11.2020	08.12.2020	

Примечание к таблице 10:

КЛ – Клинкерный бетон (pH=7.1);

КС – Шлакощелочной бетон на основе кальцинированной соды (pH = 10.9);

ЕН – Шлакощелочной бетон на основе едкого натра (каустическая сода) (pH = 12.4).

### 2.3.4. Обработка результатов испытания

Прочность адгезии образца с плитой-основанием определяют, как максимальную силу, приложенную в перпендикулярном направлении к поверхности образца, при которой происходит, отрыв испытуемых экземпляров от основания.

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

$$A_i = \frac{F}{S}, \quad (3)$$

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

$S$  – площадь контакта поверхности образца сцепления.

Все единичные значения прочности адгезии округляются до 0.1 МПа.

Результатом испытаний принимаются среднеарифметические значения результатов испытаний всех образцов  $A$ , МПа, рассчитанные по формуле:

$$A = (A_1 + \dots + A_n)/n, \quad (4)$$

где  $n$  – количество образцов в серии.

Среднеарифметические значения прочности адгезии округляются до 0.1 МПа.

В результате вычислений были получены следующие данные, представленные на рисунке 17.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						62
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		



кальцинированной содой наблюдается замедленный набор прочности, по сравнению с портландцементом.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64





Для развитых стран характерен завершающийся этап перехода на энергоэффективные способы производства – происходит замена природного топлива бытовыми и техногенными отходами. Данный переход был вызван энергетическим кризисом 1973 года.

В последнее время наблюдается тенденция по усилению требований экологической безопасности к предприятиям и производствам. Главная задача программ устойчивого развития промышленности до 2050 года заключается в максимальном уменьшении выбросов вредных веществ в окружающую среду, а также минимизация использования природных материалов и невозобновляемых ресурсов.

Важным показателем развития современного общества является отношение к отходам. Уровень утилизации отходов во многих странах мира, в том числе в развивающихся, уже превысил 50 %. Большая часть таких отходов используется в строительной отрасли, включая производство строительных материалов. Например, в США и Германии утилизируется примерно 80% золошлаковых отходов. США ежегодно использует примерно 7 млн. тонн отходов в процессе производства бетона [31].

Производство строительных материалов оказывает существенное влияние на экологическую обстановку ввиду очень больших объемов производства.

Для строительства характерно несколько направлений развития в отношении ресурсосбережения:

- замещение природного сырья на отходы промышленности, что приведет к улучшению экологической ситуации за счет уменьшения или полной ликвидации промышленных свалок, а также приведет к снижению потребления природных ресурсов;

- улучшение энергоэффективных и конструктивно-технических характеристик материала и продукции;

- улучшение эксплуатационных характеристик материала и продукции;

										Лист
										66
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ					

– применение «открытой» архитектуры при проектировании зданий и сооружений, предполагающей возможность дальнейшей модернизации, реконструкции и ремонта здания и сооружения в соответствии с социальными и технологическими изменениями на всем сроке эксплуатации объекта.

Стоит учесть, что производство портландцемента ассоциируется с высоким потреблением природных, минеральных, сырьевых и энергетических ресурсов и сопровождается повышенными объемами выбросов, что негативно сказывается на экологической обстановке в окружающей среде. Как известно, при производстве портландцемента расходуется до 5 % мирового производства энергоресурсов [17].

Таблица 11 – Энергоемкость производства основных строительных материалов.

Наименование материала	Ед. изм.	Энергоемкость, кг. условного топлива
Портландцемент М400	т	280
Сталь арматурная	т	920
Металлоконструкции строительные	т	1050
Алюминиевый профиль	т	6120
Кирпич глиняный	Тыс. шт. услов. кирп.	260
Кирпич силикатный	Тыс. шт. услов. кирп.	85
Щебень, гравий	м <sup>3</sup>	30
Песок	м <sup>3</sup>	25
Полистирольный пенопласт ПС БС	м <sup>3</sup>	35
Плиты минераловатные на синтетическом вяжущем	м <sup>3</sup>	91

Выходит, что на данный момент актуален вопрос замещения портландцемента другим материалом.

Одним из таких материалов являются шлакощелочные вяжущие, основа которых — граншлак — отход металлургического производства. Гранулированный шлак в избытке имеется в городах с развитой металлургической промышленностью, так как является продуктом отхода производства [1].

Использование металлургических шлаков в качестве заполнителя тяжелого бетона хорошо изучено и применяется в промышленном производстве многих стран. Важное направление снижения энергоемкости производства включает замену портландцемента на безобжиговые вяжущие щелочной активации, что также увеличивает экологичность. Ввиду отсутствия необходимости в обеспечении производственного оборудования, отсутствии энергозатратных технологических процессов, а также разработки месторождений наблюдается высокая экономическая эффективность такого производства.

Коммерческое производство шлакового цемента началось в Германии в 1865 году, а уже с 1880 года все более интенсивно шлакощелочной цемент использовали во всей Европе, в том числе для строительства Парижского Метрополитена. Производство данного вида цемента имеет приоритетное значение в Европе как средство по уменьшению негативного воздействия на окружающую среду. Лидерами производства данного цемента в Европе считаются Нидерланды и Великобритания.

При применении шлакового цемента при производстве бетона было замечено, что в структуре получаемого цементного камня количество капиллярных пор значительно меньше, чем у бетона на обычном портландцементе. Кроме того, шлаковый цемент отличается от обычного портландцемента большими значениями морозостойкости и водопроницаемости и меньшими значениями ползучести и усадки [6, 27].

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						68
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Также стоит отметить, что во время приготовления водного раствора гидроксида натрия, в ходе реакции гидроксида и воды, был отмечен рост температуры раствора с +20°C до +57,8 °С. В последующие 20 минут измерений не опускалась ниже +50 °С.

Произведем сравнение стоимости наиболее схожих по показателям составов цементных смесей, которые были использованы при проведении экспериментов на сжатие, сдвиг и отрыв (см. таблицы 12, 13).

Таблица 12 – Стоимость материалов для производства 1 кубического метра клинкерного бетона.

№	Материалы	Расход на 1м <sup>3</sup> , кг	Цена, руб./кг	Стоимость, руб.
1	Портландцемент марка 52,5 (М600)	420	5,4	2268
2	Песок, мытый	770	1,3	1001
3	Щебень, фр. 5-20 мм	1050	0,56	588
4	Вода фильтрованная	185	0,0253	4.68
5	Пластификатор СП-1 ВП	7	90	630
Итого, руб.				4491.68

Таблица 13 – Стоимость материалов для производства 1 кубического метра шлакощелочного бетона.

№	Материалы	Расход на 1м <sup>3</sup> , кг	Цена, руб./кг	Стоимость, руб.
1	Шлак	425	1,1	467.5
2	Песок, мытый	750	1,3	975
3	Щебень, фр. 5-20 мм	1095	0,56	613.2
4	Вода фильтрованная	141,15	0,0253	3.57
5	Едкий натр	28,85	21	605.85
6	Пластификатор СП-1 ВП	7	90	630
Итого, руб.				3295.12

Исходя из табличных данных, сделаем вывод: шлакощелочная смесь, у которой по ряду технических параметров вырисовывается паритет со

портландцементом (прочность на сжатие), и присутствуют явные преимущества по множеству других показателей (прочность на сдвиг, прочность на отрыв, кислотостойкость, износостойкость, повышенная морозостойкость); дешевле в производстве при подсчете стоимости готовой к заливке (эксплуатации) смеси на 26,64%.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показывают, что на качество соединения – а именно прочность соединения бетона в зоне контакта «нового» слоя с основанием оказывает влияние ряд технологических факторов. В ходе проведения испытаний и анализа полученных результатов установлено влияние типа и уровня рН затворяющего раствора на соединение «старого» и «нового» бетона:

– Адгезия «старого» и «нового» бетонов зависит: от материала вновь уложенного бетона и от уровня рН затворяющего раствора. Чем выше уровень рН затворяющего раствора, тем выше прочность рабочего шва между «старым» и «новым» бетоном;

– Наблюдается зависимость: скорость набора прочности шлакощелочного бетона от уровня рН затворяющего раствора (чем выше рН, тем выше скорость набора прочности);

– Стоит отметить факт: разрушение образцов шлакощелочного бетона, затворенного водным раствором карбоната натрия (рН=10,9) и гидроксида натрия (рН=12,4) спустя сутки после укладки «старого» бетона, происходит не по технологическому шву. Причиной чего является повышенное сцепление бетонов в зоне контакта. Это можно объяснить разными значениями прочности шва при аналогичных составах, но разном возрасте «старого» бетона. В отличие, от случая, когда укладка «нового» бетона происходит через 28 суток после затворения «старого» бетона, когда процесс структурообразования и кристаллизации практически завершены.

– Испытания на сжатие показали, что наличие механической обработки контактной поверхности шва не оказывает влияния на прочность рабочего шва. Данный результат является промежуточным и требует проверочных экспериментов.

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						









28. СП 70.13330.2012. Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНИП 3.03.01-87. – Введ. 2013-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012.

29. СП 435.1325800.2018. Конструкции бетонные и железобетонные монолитные. Правила производства и приемки работ.

30. Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 10 мая 2016 г. № 868-р.

31. Сулейманова Л.А. Высококачественные энергосберегающие и конкурентоспособные строительные материалы, изделия и конструкции / Сулейманова Л.А. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова – 2017 – №1 – С. 9–16.

32. Таймасов Б.Т. Технология производства портландцемента: Учеб. пособие. – Шымкент, Изд-во ЮКГУ, 2003. – 297 с.

33. 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.

34. ТР 186-07. Технологический регламент на установку гидроизоляционных шпонок АКВАСТОП при устройстве и восстановлении гидроизоляции деформационных и технологических швов бетонирования в железобетонных конструкциях подземных и заглубленных сооружений.

35. Хахук Б.А., Ан Ю.А. Перспективы системы технической инвентаризации в России / Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник) 2016. № 3. С. 113–117

36. 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.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						75
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

37. 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.

38. 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.

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

40. 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

41. He, Y. 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.

42. 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.

43. 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.

44. 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.

45. Kolcedancev, L. Grouting of Precast Monolithic Building Joints with Heated Concrete Mix / L. Kolcedancev, B. Petrakov // World Applied Sciences Journal (Problems of Architecture and Construction). – 2013. – Vol. 23, № 13. – P. 55–59.

46. McCormac, J.C. Design of reinforced concrete / J.C. McCormac, J.K. Nelson. – 7th ed. – John Wiley & Sons, Inc., 2006. – 720 p.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
						76
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

47. Richardson, I. The Chemistry of Cements / I. Richardson, H.W.F. Taylor, eds. – London, UK: Thomas Telford ICE Publishing, 2012. – 552 p.

48. 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.

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

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

51. Waters, T. A study of the tensile strength of concrete across construction joints / T. Waters // Magazine of Concrete Research – 1954. – P. 151–153.

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## Приложение А

### Паспорт качества портландцемента



ООО «Южно-уральская ГПК» 462360, Россия, Оренбургская область,  
г. Новотроицк, ул. Запад (5,4 км тер.), здание №5  
Тел. (3537) 77-91-11, факс: (3537) 77-91-12; info@yugpk.ru

Сертификат соответствия №РОСС RU C-RU.CC01.B.00170/20  
действителен с 16.01.2020 по 15.01.2021

по вопросам качества обращаться (3537) 77-90-77

Паспорт качества № 40 071  
Портландцемент ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016

Партия №  Дата отгрузки  номер ТС   
Грузополучатель

Наименование характеристики	Единица измерения	Результаты испытаний	Нормативное значение ГОСТ 31108-2016
<b>Физико-механические показатели цемента</b>			
Класс прочности цемента		52,5	-
Тонкость помола цемента (по остатку на сите 009)	%	0	-
Тонкость помола цемента (по удельной поверхности)	м <sup>2</sup> /кг	381	-
Начало схватывания (сроки схватывания)	мин	120	не ранее 45
Конец схватывания (сроки схватывания)	мин	150	-
Равномерность изменения объема	мм	0,5	Не более 10
Нормальная плотность цементного теста	%	27,75	-
Предел прочности при сжатии после пропаривания (ГОСТ 310.4)	МПа	43,48	-
Группа по эффективности пропаривания		1	-
Предел прочности при сжатии в возрасте 2 суток	МПа	26,52	Не менее 20
Предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут. (ср. значение за предыдущий месяц)	МПа	55,5	Не менее 52,5
<b>Химические показатели цемента</b>			
Массовая доля нерастворимого остатка	%	0,12	Не более 5,0
Потери массы при прокаливании	%	1,07	Не более 5,0
Наименование и количество специальных и технологических добавок в цементе	%	0	Не более 1,0
Массовая доля оксида серы VI (SO <sub>3</sub> )	%	2,76	Не более 4,0
Массовая доля хлор-иона (Cl <sup>-</sup> )	%	0,025	Не более 0,10
Массовая доля щелочных оксидов (в пересчете на Na <sub>2</sub> O)	%	0,48	-
<b>Химические и минералогические показатели клинкера</b>			
Массовая доля оксида кальция (CaO)	%	65,72	-
Массовая доля оксида алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	4,84	-
Массовая доля оксида железа (III) (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	4,27	-
Массовая доля оксида кремния (SiO <sub>2</sub> )	%	21,52	-
Массовая доля оксида магния (MgO)	%	3,83	Не более 5,0
Массовая доля свободного оксида кальция (CaO <sub>св</sub> )	%	0,58	-
Коэффициент насыщения (KH)	%	0,92	-
Массовое отношение оксида кальция к оксиду кремния	%	3,1	Не менее 2,0
Содержание трехкальциевого силиката (3CaO•SiO <sub>2</sub> )	%	63,06	-
Содержание двухкальциевого силиката (2CaO•SiO <sub>2</sub> )	%	14,12	-
Содержание трехкальциевого алюмината (3CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	5,58	-
Содержание четырехкальциевого алюмоферрита (4CaO•Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> •Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	12,98	-
Сумма трехкальциевого силиката и двухкальциевого силиката	%	77,18	Не менее 67
<b>Гарантийный срок хранения без доступа влаги 60 суток после отгрузки</b>			
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов ГОСТ 30108-94	Бк/кг	42,14 ± 3,99	Не более 370

Портландцемент ЦЕМ I 52,5Н ГОСТ 31108-2016 производства ООО «Южно-уральская ГПК» нетоксичен, пожаро- и взрывобезопасен

Соответствует требованиям ГОСТ 31108-2016; ГОСТ 30515-2013



Начальник ОКК

Т.Ю. Саратцева

					Лист
					78
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ

## Приложение Б

### Паспорт качества гранулированного шлака



**Мечел-Материалы**

Лаборатория ООО «Мечел-Материалы»

Свидетельство № 35 действительно до 26.12.2020

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

Телефон 8 (351) 725-25-88

ДОКУМЕНТ О КАЧЕСТВЕ № 373  
Добавка минеральная активная GreenCems® GGBS-450  
(шлак доменный гранулированный молотый)  
ТУ 38.32.22-012-99126491-2017

Дата отгрузки 08.02.2020г. № партии 1  
Грузополучатель \_\_\_\_\_  
№ авто Q115 EK 198

	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	518
Влажность, %	Не более 0,5	0,18
Содержание хлорид-иона (Cl <sup>-</sup> ), %	Не более 0,1	0,019
Содержание оксида серы (VI) SO <sub>3</sub> , %	Не более 2,5	1,51
Щелочные оксиды (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O), %	Не более 1,0	0,66
Потери при прокаливании, %	Не более 5,0	2,46
Массовая доля содержания оксида магния (MgO), %	Не более 18,0	11,63
Массовая доля содержания (CaO+MgO+SiO <sub>2</sub> ), %	Не менее 67,0	80
Отношения массовых долей (CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> )	Не менее 1,0	1,33
Содержание стекловидной фазы, %	Не менее 70,0	83,0
Прочность на сжатие в возрасте 28сут., МПа	Не менее 8,0	16,1
Начало схватывания, мин.	Не ранее 150	165
Равномерность изменения объема, мм.	Не более 10	0
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг.	Менее 370	133,7

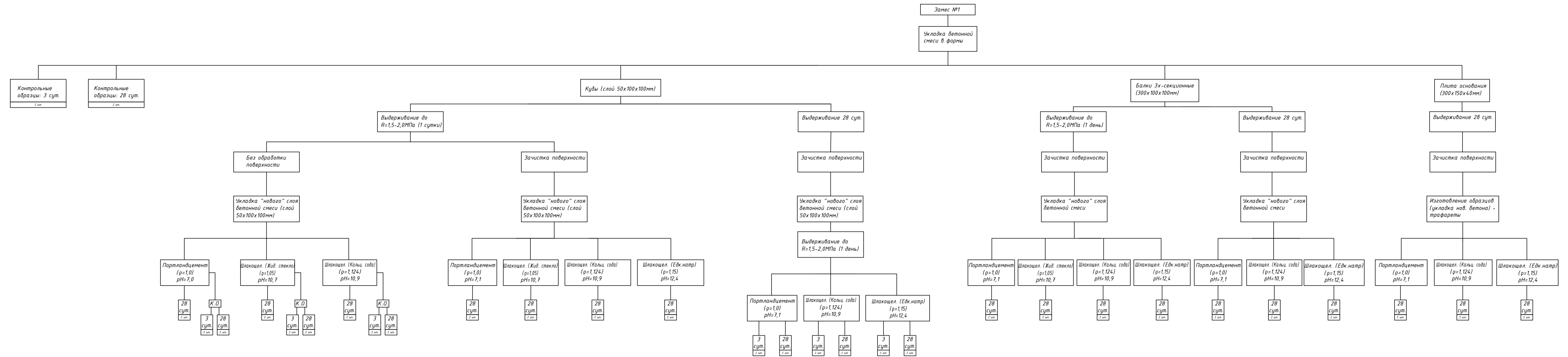
Разрешено к применению в качестве строительного материала без ограничения. Применяется для изготовления товарного бетона, для всех видов раствора ( в том числе для половых стяжек ), в домовом строительстве, а также для изготовления бетонных и железобетонных, сборных или монолитных конструкций и элементов ( при отсутствии повышенных требований к динамике набора прочности в ранние сроки твердения).

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

Знак контроля / \_\_\_\_\_  
Подпись \_\_\_\_\_ ФИО \_\_\_\_\_



Приложение В  
Общая схема этапов проведения экспериментов



АСИ - 393.08.04.01.2021 ПЗ					
Челябинск					
Изм.	Кол. ч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Зав. каф.	Ликсу Г.А.				
Руководитель	Казан М.Н.				
Н. контр.	Казан М.Н.				
Разраб.	Лычагин Д.Ю.				
Влияние технологических факторов бетонирования на качество соединения бетона в зоне контакта нового слоя с основанием			Стадия	Лист	Листов
Приложение В. Общая схема этапов проведения экспериментов			ЭП	80	84
Копировал			ЮрГУЧ Кафедра СПиТС		
Формат А1					



## Приложение Г

### Результаты испытаний. 1 этап.

№ образ-ца	Материал нового бетона/затворяемой жидкости	рН затворяемой жидкости	Выдерживание перед заливкой "нового" бетона. сут	Зачистка	Форма	R <sub>3</sub> , (кН)	R <sub>28</sub> , (кН)	Дата замеса	Дата испытания
1	КЛ	7.1	1	Н/З	50x100x100	-	544.66	29.09.2020	27.10.2020
2	КЛ	7.1	1	Н/З	50x100x100	-	525.50	29.09.2020	27.10.2020
3	КС	10.9	1	Н/З	50x100x100	-	420.62	29.09.2020	27.10.2020
4	КС	10.9	1	Н/З	50x100x100	-	385.75	29.09.2020	27.10.2020
5	ЖС	10.7	1	Н/З	50x100x100	-	262.33	29.09.2020	27.10.2020
6	ЖС	10.7	1	Н/З	50x100x100	-	121.54	29.09.2020	27.10.2020
7	КЛ	7.1	1	3	50x100x100	-	542.76	29.09.2020	27.10.2020
8	КЛ	7.1	1	3	50x100x100	-	469.30	29.09.2020	27.10.2020
9	КС	10.9	1	3	50x100x100	-	447.36	29.09.2020	27.10.2020
10	КС	10.9	1	3	50x100x100	-	421.26	29.09.2020	27.10.2020
11	ЖС	10.7	1	3	50x100x100	-	134.75	29.09.2020	27.10.2020
12	ЖС	10.7	1	3	50x100x100	-	191.00	29.09.2020	27.10.2020
13	ЕН	12.4	1	3	50x100x100	-	386.87	29.09.2020	27.10.2020
14	ЕН	12.4	1	3	50x100x100	-	431.51	29.09.2020	27.10.2020
"Балки"									
15	КЛ	7.1	1	3	300x100x100	-	3.24	28.09.2020	27.10.2020
16	КЛ	7.1	1	3	300x100x100	-	1.17	28.09.2020	27.10.2020

Продолжение приложения Г

17	КС	10.9	1	3	300x100x100	-	0.76	28.09.2020	27.10.2020
18	КС	10.9	1	3	300x100x100	-	0.5	28.09.2020	27.10.2020
19	ЖС	10.7	1	3	300x100x100	-	0.55	28.09.2020	27.10.2020
20	ЖС	10.7	1	3	300x100x100	-	1.82	28.09.2020	27.10.2020
21	ЕН	12.4	1	3	300x100x100	-	2.18	28.09.2020	27.10.2020
22	ЕН	12.4	1	3	300x100x100	-	7.72	28.09.2020	27.10.2020
Контрольные образцы									
60	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	329.8	-	28.09.2020	01.10.2020
61	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	332.4	-	28.09.2020	01.10.2020
62	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	-	508	28.09.2020	26.10.2020
63	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	-	501	28.09.2020	26.10.2020
64	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	278.396	-	29.09.2020	02.10.2020
65	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	258.317	-	29.09.2020	02.10.2020
66	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	-	511.9	29.09.2020	27.10.2020
67	КЛ	7.1	-	-	100x100x100	-	499.81	29.09.2020	27.10.2020
68	КС	10.9	-	-	100x100x100	47.135	-	29.09.2020	02.10.2020
69	КС	10.9	-	-	100x100x100	46.391	-	29.09.2020	02.10.2020
70	КС	10.9	-	-	100x100x100	-	252.29	29.09.2020	27.10.2020
71	КС	10.9	-	-	100x100x100	-	339	29.09.2020	27.10.2020
72	ЖС	10.7	-	-	100x100x100	24.74	-	29.09.2020	02.10.2020
73	ЖС	10.7	-	-	100x100x100	24.368	-	29.09.2020	02.10.2020

## Окончание приложения Г

74	ЖС	10.7	-	-	100x100x100	-	150.669	29.09.2020	27.10.2020
75	ЖС	10.7	-	-	100x100x100	-	166.844	29.09.2020	27.10.2020
76	ЕН	12.4	-	-	100x100x100	225.011	-	29.09.2020	02.10.2020
77	ЕН	12.4	-	-	100x100x100	216.82	-	29.09.2020	02.10.2020
78	ЕН	12.4	-	-	100x100x100	-	414.068	29.09.2020	27.10.2020
79	ЕН	12.4	-	-	100x100x100	-	413.196	29.09.2020	27.10.2020

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		83

## Приложение Д

### Результаты испытаний. 2 этап.

№ образца	Материал нового бетона/затворяемой жидкости	рН затворяемой жидкости	Выдерживание перед заливкой "нового" бетона, сут	Зачистка	Форма	R <sub>3</sub> , (кН)	R <sub>28</sub> , (кН)	Дата замеса	Дата испытания
"Половинки"									
23	КЛ	7,1	28	3	50x100x100	300,515	-	10.11.2020	13.11.2020
24	КЛ	7,1	28	3	50x100x100	288,064	-	10.11.2020	13.11.2020
25	КЛ	7,1	28	3	50x100x100	-	121,838	10.11.2020	08.12.2020
26	КЛ	7,1	28	3	50x100x100	-	503,86	10.11.2020	08.12.2020
27	КС	10,9	28	3	50x100x100	139,546	-	10.11.2020	13.11.2020
28	КС	10,9	28	3	50x100x100	99,702	-	10.11.2020	13.11.2020
29	КС	10,9	28	3	50x100x100	-	421,144	10.11.2020	08.12.2020
30	КС	10,9	28	3	50x100x100	-	379	10.11.2020	08.12.2020
31	ЕД	12,4	28	3	50x100x100	289,96	-	10.11.2020	13.11.2020
32	ЕД	12,4	28	3	50x100x100	250,917	-	10.11.2020	13.11.2020
33	ЕД	12,4	28	3	50x100x100	-	492,799	10.11.2020	08.12.2020
34	ЕД	12,4	28	3	50x100x100	-	468,263	10.11.2020	08.12.2020
"Балки"									
35	ЕД	12,4	28	3	300x100x100	-	23,51	10.11.2020	08.12.2020
36	ЕД	12,4	28	3	300x100x100	-	31,59	10.11.2020	08.12.2020
37	КС	10,9	28	3	300x100x100	-	-	10.11.2020	08.12.2020
38	КС	10,9	28	3	300x100x100	-	-	10.11.2020	08.12.2020
39	КЛ	7,1	28	3	300x100x100	-	5,99	10.11.2020	08.12.2020
40	КЛ	7,1	28	3	300x100x100	-	13,28	10.11.2020	08.12.2020
Контрольные образцы									
41	КЛ	7,1	-		100x100x100 К.О.	287,395	-	10.11.2020	13.11.2020
42	КЛ	7,1	-		100x100x100 К.О.	289,105	-	10.11.2020	13.11.2020
43	КЛ	7,1	-		100x100x100 К.О.	-	579,139	10.11.2020	08.12.2020

## Окончание приложения Д

44	КЛ	7,1	-		100x100x100 К.О.	-	543,17	10.11.2020	08.12.2020
45	КС	10,9	-		100x100x100 К.О.	37,872	-	10.11.2020	13.11.2020
46	КС	10,9	-		100x100x100 К.О.	27,530	-	10.11.2020	13.11.2020
47	КС	10,9	-		100x100x100 К.О.	-	343,154	10.11.2020	08.12.2020
48	КС	10,9	-		100x100x100 К.О.	-	384,60	10.11.2020	08.12.2020
49	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	160,263	-	10.11.2020	13.11.2020
50	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	166,101	-	10.11.2020	13.11.2020
51	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	-	389,428	10.11.2020	08.12.2020
52	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	-	419,213	10.11.2020	08.12.2020
53	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	178,586	-	10.11.2020	13.11.2020
54	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	177,730	-	10.11.2020	13.11.2020
55	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	180,14	-	10.11.2020	13.11.2020
56	ЕД	12,4	-		100x100x100 К.О.	173,91		10.11.2020	13.11.2020

					АСИ-393.08.04.01.2021 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		85