

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

На правах рукописи

УДК 624.012.45

*Семёнов
Антон Анатольевич*

*СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ КОНТАКТНЫХ ШВОВ СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОСЛОЕК*

1-70 80 01 «Строительство»

Магистерская диссертация

на соискание степени магистра технических наук

Научный руководитель

к.т.н., доцент Кремнёва Елена Геннадьевна

Допущен к защите _____

Лазовский Е.Д. _____

Новополоцк, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	3
	ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	4
ГЛАВА 1	АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	6
	1. 1. Область применения составных конструкций в народном хозяйстве и строительстве.....	6
	1. 2. Сопротивление сдвигу составных конструкций из бетона и железобетона. Подготовка контактного шва.....	10
	1. 3. Использование модифицированных бетонов в составных бетонных конструкциях.....	16
	1. 4. Использование прослоек в составных бетонных конструкциях.	18
	Выводы по главе 1.....	21
ГЛАВА 2	МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	22
	2.1. Исходные материалы и характеристики.....	22
	2.2 Схема испытаний составных конструкций.....	24
	2.3. Подготовка поверхности контакта. Оценка поверхности старого бетона.....	28
	2.4. Методика исследований составных конструкций.....	30
	2.5. Результаты испытаний.....	35
	Выводы по главе 2.....	38
ГЛАВА 3	АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	39
	3.1 Расчет сопротивления сдвигу контактного шва составной конструкции.....	39
	3.2 Эффективность модифицированных прослоек в контактных швах.....	41
	Выводы по главе 3.....	44
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	45
	СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос сцепления старого бетона с новым является актуальным во всех областях строительства. Обеспечение совместной работы слоев бетона и железобетона в составных конструкциях является важным вопросом не только в сборно-монолитном и монолитном строительстве, но и при реконструкции, техническом перевооружении зданий и сооружений, а также при устройстве стыков и швов сборных железобетонных конструкций.

Соединение двух (и более) элементов, которые изначально могут отличаться по материалу, свойствам и технологии производства, всё чаще находят своё применения в различных отраслях народного хозяйства, например, в машиностроении, химической промышленности, медицине, строительной отрасли и т.д., в виде составных конструкций и изделий.

Вектор развития строительной отрасли в настоящее время направлен на увеличение доли составных железобетонных конструкций как в новом строительстве сборно-монолитном и монолитном, так и при реконструкции при усилении намоноличиванием (наращиванием, рубашками, обоями). Развитие и внедрение новых материалов, технологий диктует необходимость сочетания в составной конструкции слоев, отличающихся по своим свойствам. В таких конструкциях весьма актуальным вопросом является обеспечение сцепления (сопротивления сдвигу) контактных швов, при этом от технологии и качества подготовки контактного шва, способов бетонирования, составов бетонов зависит надежная совместная работа слоев конструкции и ее дальнейшая эксплуатация.

В настоящее время исследования надежного соединения составных конструкций получили свое развитие в трудах многих ученых научно-исследовательских, проектных и учебных институтов Республики Беларусь, стран СНГ, и за рубежом. Однако вопрос остается актуальным и все еще до конца не изученным, в силу значительного множества факторов, которые могут оказать влияние на сопротивление сдвигу контактного шва.

Совместная работа составной конструкции возможна лишь при грамотном сочетании материаловедческих, технологических и конструкционных мероприятий, обеспечивающих прочность контактного шва. Таким образом, благодаря детальному изучению всех трех аспектов можно предложить новые, более эффективные способы соединения железобетонных элементов.

Данная работа направлена на изучение возможности применения в контактном шве прослоек на основе цементных систем, в том числе модифицированных.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы ГБ№3511 «Совершенствование методов расчета несущих строительных конструкций с новыми видами армирования, разработка теоретических основ оценки технического состояния и усиления конструкций эксплуатируемых сооружений» кафедры «Строительные конструкции».

Объектом исследования является контактный шов составной бетонной конструкции

Предмет исследования: сопротивление сдвигу контактного шва составной бетонной конструкции с использованием прослоек.

Цель исследования: обеспечение сопротивления сдвигу составной бетонной конструкции с использованием прослоек.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- определить влияние прослоек на основе цементных систем на прочность сцепления бетонов составной бетонной конструкции без модификатора;
- определить влияние прослоек, модифицированных гиперпластификатором Стахемент-2010 на прочность сцепления бетонов составной бетонной конструкции;
- установить характер разрушения составных бетонных элементов (конструкций);
- дать предложения по основам расчета составных бетонных конструкций с прослойками.

Научную новизну работы составляют:

- впервые проведенные исследования с прослойками, модифицированными Стахемент-2010;
- Предложения по основам расчета бетонных конструкций с прослойками.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты экспериментальных исследований влияния прослоек на основе цементных систем на сопротивление сдвигу контактного шва составной бетонной конструкции;
- результаты экспериментальных исследований влияния прослоек, модифицированных гиперпластификатором Стахемент-2010, на сопротивление сдвигу контактного шва составной бетонной конструкции;
- Предложения по основам расчета бетонных конструкций с прослойками.

Работа выполнена самостоятельно, при консультировании научным руководителем

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на X Международной конференции молодых ученых Полоцкого государственного университета, а также на студенческой научной конференции.

Публикации.

1. A. Semenov, E. Kremneva. The use of interlayers in composite concrete structures // European and national dimension in research. Technology/ Polotsk State University. – Novopolotsk, 2017. – С. 3 – 6.
2. Семенов А.А., Кремнева Е.Г. Применение прослоек в составных бетонных и железобетонных конструкциях // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – в печати.
3. Экспериментальные исследования сопротивления сдвигу контактного шва с прослойками из цементных систем без модификатора и с гиперпластификатором Стахемент-2010 // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – в печати

4. К вопросу сопротивления сдвигу контактного шва составных бетонных конструкций // Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. – в печати

Объем работы. Магистерская диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературных источников из 34 наименований. Работа изложена на 48 страницах и содержит 36 рисунков, 10 таблиц.

ГЛАВА 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ. ОСОБЕННОСТИ СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

1.1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В настоящее время составные элементы с использованием материалов с различными свойствами является весьма актуальным и перспективным аспектом во многих областях народного хозяйства, таких как машиностроение и металлообработка, химическая промышленность, медицина, строительство и др.

Главным преимуществом составных конструкций является использование материалов с различными свойствами, возможность соединения в одном изделии нескольких элементов с разными характеристиками. При этом используются положительные свойства каждого материала в отдельности, и обеспечивается, таким образом, универсальность всего изделия, его совместная работа и надёжная эксплуатация.

Таким образом, использование материалов с различными свойствами в составной конструкции объединяет одно – совместная работа не менее двух материалов, которые изначально могут отличаться по свойствам, составам и технологии изготовления.

Так, в машиностроении и металлообработке совместная работа необходима при восстановлении деталей.

В медицине составные изделия применяются в ортопедии эндопротезированы, также составные конструкции используются в стоматологии, в виде различных зубных протезов и пломб. Таким образом, совместная работа двух различных материалов здесь является жизненно важным фактором.

В химической промышленности особое внимание уделяется производству пластмасс. При соединении пластмассовых конструкций предъявляются повышенные требования к герметичности и прочности всей конструкции в целом, которые обеспечиваются совместной работой используемых материалов.

В строительной отрасли соединение двух и более материалов с различными свойствами находят своё применение в деревянных, металлических, бетонных и железобетонных и других конструкциях.

Так, в деревянных конструкциях широко востребована древесно-слоистая плита (фанера), которая является многослойным строительным материалом и изготавливается путём склеивания специально подготовленного шпона.

В металлических конструкциях особое внимание уделяется совместной работе изделия в целом, которая обеспечивается соединением элементов конструкции. В настоящее время применяют сварные, болтовые, заклепочные, паянные, клееболтовые и другие соединения.

Однако именно бетон и железобетон являются главными конструкционными строительными материалами и занимают прочные первые позиции в мировом производстве строительной отрасли. Таким образом, совместная работа двух (и более) бетонов с различными свойствами является весьма актуальным.

Совместная работа составных бетонных и железобетонных конструкций и ее надёжная эксплуатация невозможна без обеспечения сопротивления сдвигу контактного шва. Сопротивление контактного шва зависит как от технологии и качества подготовки поверхностей элементов, так и от способов бетонирования, составов бетонов и др.

В настоящее время существует большое разнообразие видов соединений бетонных и железобетонных конструкций, которые отличаются материалами, технологией соединения и конструктивными решениями. Их условная классификация приводится на рис.1.1.



Рисунок 1.1 – Обеспечение прочности соединений бетонных железобетонных элементов

В строительстве контактные швы по своему использованию можно условно классифицировать следующим образом, рис.1.2.

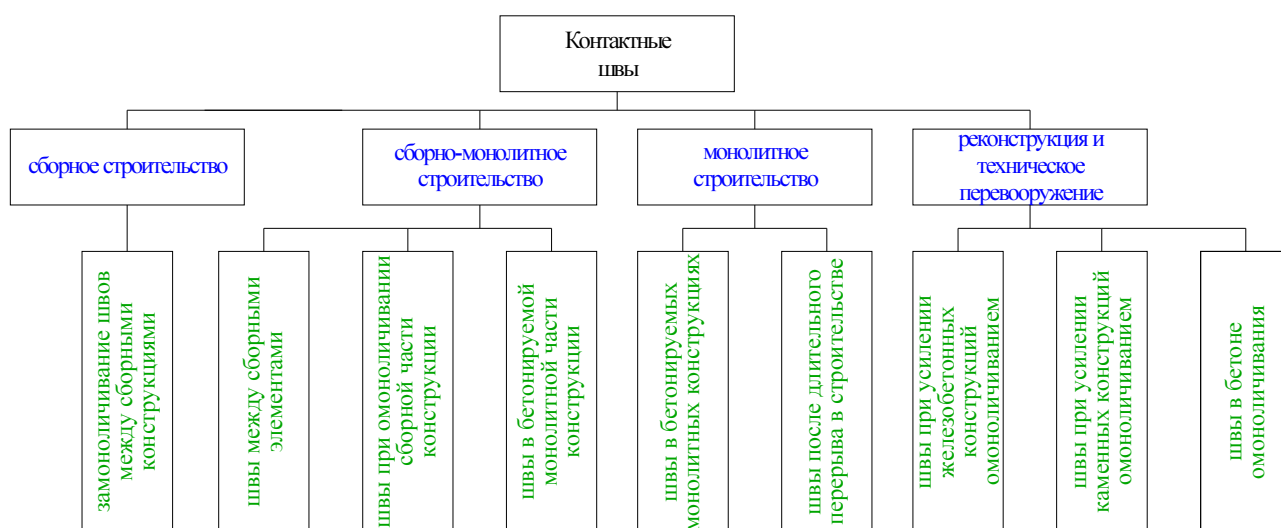


Рисунок 1.2 – Классификация контактных швов

В сборном строительстве совместная работа конструкций осуществляется при замоноличивании стыков, швов. Контактные швы здесь представлены швами между сборными конструкциями (соединение колонн, ригелей, панелей и др.).

В сборно-монолитном строительстве также замоноличивание швов сборных элементов имеет существенное значение, швы в бетоне намоноличивания и швы между сборными конструкциями и монолитным бетоном.

В тоже время в сборно-монолитном строительстве все большее распространение ввиду своей эффективности получает несъемная опалубка, которая на сегодняшний день может быть выполнена из синтетических материалов и являться частью конструкции. Существуют различные виды несъемной опалубки: железобетонная, армоцементная, стеклоцементная, стальная сетка, пенополистирольная и другие виды.

Используются несъемные опалубки из цементно-стружечных плит, гидрофобного картона, самозатухающего пенополистирола с вмонтированными в процессе формирования оцинкованными перемычками. Основным преимуществом несъемной опалубки считается ее многофункциональность, которая заключается в том, что она одновременно является и опалубкой и частью конструкции. Однако для обеспечения совместной работы несъемной конструкции, необходимо обеспечить надежное сцепление опалубки с обычным бетоном.

В практике сборно-монолитного строительства используются различные конструктивные решения междуэтажных перекрытий: от разнообразных сборных железобетонных настилов с выпускными ребрами, из армодеталей и монолитного

ячеистого бетона, из среднеобъемных балок-настилов Т-образного сечения, из спаренных балок и железобетонных вкладышей или пустотных шлакобетонных вкладышей до различных модификаций перекрытия типа «ДАХ» (Беларусь), «Марко» (Россия), «Teriva» (Польша) и др.

Положительные стороны сборно-монолитной конструкции:

- возможность выполнения большого количества архитектурных и конструктивных решений;
- использование одной из сборных конструкций в качестве несъемной опалубки;
- возможность использования малой механизации.

Для того чтобы данная конструкция работала как единая, необходимо особое внимание уделять стыкам и соединению сборных элементов с монолитным бетоном, т.е. обеспечению прочности контактного шва.

В монолитном строительстве также может возникать вопрос о контактном шве.

При возведении железобетонных конструкций стремятся непрерывно укладывать бетонную смесь. Иногда это является неременным технологическим условием. Однако в большинстве случаев при сооружении обычных железобетонных конструкций по организационным и технологическим причинам перерывы в бетонировании неизбежны и, следовательно, неизбежно устройство швов. Причем перерывы в строительстве могут быть от технологических до длительных (при долгострое). Именно тогда возникает вопрос о соединении конструкций друг с другом и необходимости обеспечения прочности контактного шва.

Реконструкция наряду с новым строительством имеет первостепенное значение, так как ее объемы в настоящее время практически сравнялись с новым строительством. К реконструкции прибегают при изменении условий эксплуатации и функционального назначения строительных сооружений вследствие внедрения новых технологий, а также в связи с необходимостью восстановления физически и морально изношенных отдельных элементов, частей зданий и сооружений.

При реконструкции и техническом перевооружении проводится усиление железобетонных конструкций намоноличиванием (наращиванием, рубашками, обоями), т.е. создается составная конструкция из нескольких слоев, которая должна обеспечивать надёжную совместную работу всей конструкции.

Преимущества наращивания, рубашек и обоев обусловлено:

- применением в качестве опалубки с одной или нескольких сторон конструкции;
- простотой усиления (наращивание);
- изменением схем работы конструкций в запас прочности.

Таким образом, составные элементы с использованием материалов с различными свойствами является весьма актуальным и перспективным аспектом во многих областях народного хозяйства, в том числе в строительстве. Главным преимуществом составных конструкций является использование материалов с различными свойствами, возможность соединения в одном изделии нескольких элементов с разными характеристиками.

1.2 СОПРОТИВЛЕНИЕ СДВИГУ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА. ПОДГОТОВКА КОНТАКТНОГО ШВА

Сопротивление сдвигу старого и нового бетона определяется многими факторами, такими как характер действия сил, условия укладки нового бетона, степень и методы уплотнения, уход за свежеложенным бетоном, обработка сопрягаемой поверхности старого бетона, состав бетонной смеси.

Проанализировав экспериментальные работы Р. Фере, Н. Деви, опыты К. Хагера и И.Неининга, Р. Девиса, А. А. Гвоздева, А. П. Васильева, С. А. Дмитриева и многих других, можно отметить, что в изучении факторов влияющих на сцепление поверхностей сопряжения существует достаточно большой и убедительный материал [1-3,17-24].

Первый фактор – подготовка поверхности, влияющая на сцепление слоев в составных бетонных и железобетонных конструкциях. Подготовка поверхности является наиболее простым и доступным способом обеспечения надежного сцепления слоев. Существует несколько технологий подготовки поверхности контактного шва, которые условно можно разделить на четыре группы, рис.1.3, [3].

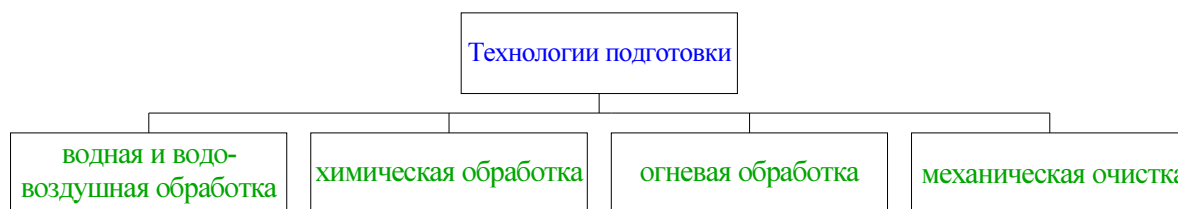


Рисунок 1.3 – Технологии подготовки поверхности контактного шва

Водная и водо-воздушная обработка заключается в удалении поверхностной цементной пленки водяной и водо-воздушной струей. Для лучшего сцепления ранее уложенного бетона со свежим швы по горизонтальным и наклонным поверхностям могут очищаться металлическими щетками или механическими фрезами, а затем покрываться цементным раствором, чтобы заполнить все неровности, поры и раковины.

Химическая обработка основана на использовании органических и неорганических смывок, посредством которых материал поверхностной пленки растворяется, набухает или разрушается, что позволяет отделить ее от конструкции механическим путем.

Огневая обработка предусматривает быстрый нагрев бетона, при этом верхний слой его сильно растягивается и может быть удален механическим путем, однако подверженный такой обработке материал, может изменить свои свойства по высоте сечения.

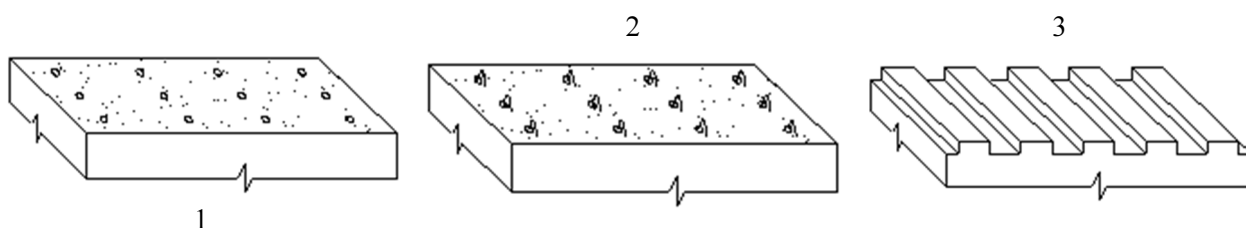
Механическая очистка состоит в удалении карбонатной пленки (в том числе цементной), создании шероховатой поверхности, насечек, шпонок и др.

Уже в первые часы твердения в условиях воздушной среды поверхность бетона начинает карбонизироваться при взаимодействии продуктов гидратации цемента с содержащейся в воздухе углекислотой. Этот процесс влияет на механическую прочность поверхностного слоя сборного бетона. Чем больше возраст сборного бетона, тем выше концентрация образовавшегося карбоната кальция в поверхностном слое. Проведенные исследования [3,4] доказывают, что наличие карбонатной пленки препятствует надежному сцеплению сборного бетона и бетона намоноличивания. Чтобы обеспечить прочное сцепление слоев необходимо снять цементную пленку, то есть механически обработать поверхность бетона и создать шероховатость поверхности, увеличивающую площадь контакта сборного бетона.

Так как сцепление на гладкой поверхности слабее, чем на шероховатой, поверхность сопряжения рекомендуется бетонировать в нестроганой опалубке. Что касается реконструируемых зданий, где поверхность элементов гладкая площадь поверхности можно увеличить путем придания шероховатости, насечками, анкерами и др.

Рост сцепления обеспечивается за счет увеличения фактической площади контактного шва, это увеличивает проникновение частичек цементного теста нового бетона в поры и неровности старого с образованием своеобразных микроанкеров. Экспериментально установлено, что наилучшее сцепление обеспечивается при развитой шероховатости. Гладкие поверхности, не обладая такими преимуществами, обеспечивают значительно меньшее сцепление [5].

Увеличение фактической площади контактного шва можно достичь как путем придания шероховатости, так и устройством отверстий и пазов, анкерных выступов и змеек, или за счет устройства шпонок различной формы (рисунок 1.4). [13,14]



1 – устройство на поверхности отверстий; 2 – устройство на поверхности анкерующих змеек;
3 – устройство шпонок прямоугольной формы.

Рисунок 1.4 – Разновидности мероприятий по увеличению площади контактного шва

Однако подобные мероприятия требуют высоких трудозатрат и не всегда являются необходимыми. Их применение зависит от требований, предъявляемых к конструкции и от ее общего состояния.

Исследование о влиянии различных способов придания механической шероховатости и различных условиях хранения было приведено в работе [2]. На основании результатов данной работы построены гистограммы прочности образцов в возрасте 28 суток соответственно для L серии (твердеющих в лаборатории) и E серии (твердеющих за пределами лаборатории), представленные на рисунке 1.5-1.6.

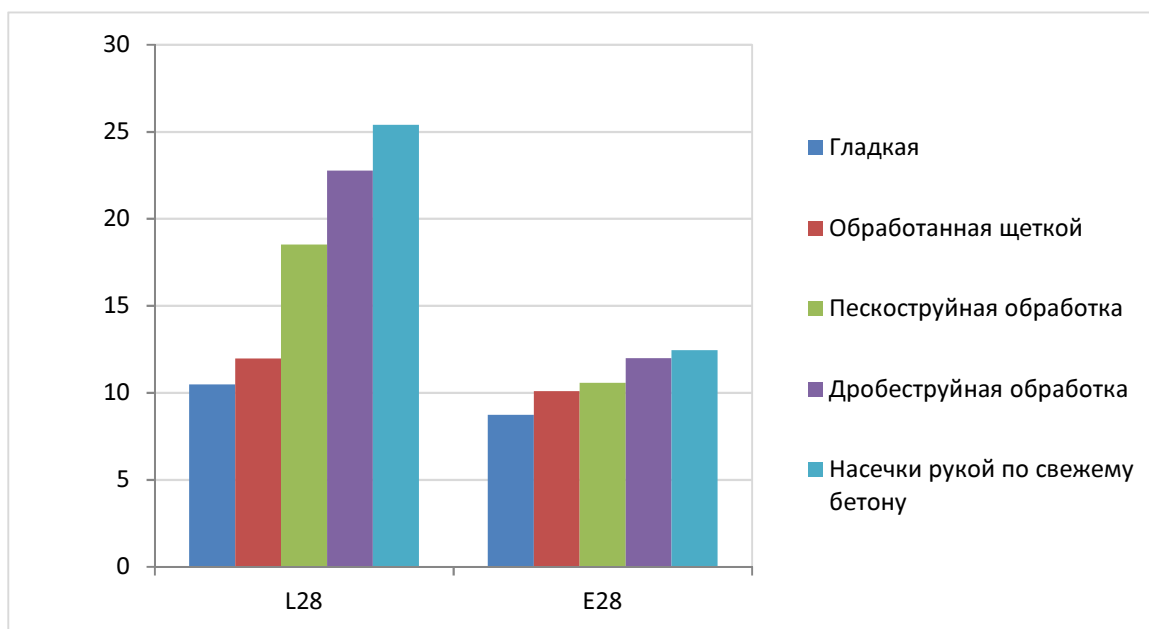


Рисунок 1.5 – Прочность сцепления на сдвиг, МПа
 Рисунок 1.6 – Прочность сцепления на растяжение, МПа

По результатам данной работы можно сделать вывод, что увеличение площади контактного шва с увеличением шероховатости положительно влияет на прочность контактного шва. Также важным фактором являются условия хранения, образцы Е серии, хранившиеся в неправильных условиях, имеют прочность контактного шва на 19% ниже, чем образцы L серии, хранящиеся при надлежащих условиях температуры и влажности. Это подтвердило исследование, представленное в [2].

Обработка поверхности металлическими щетками не только позволяет создать шероховатую поверхность, но и позволяет удалить отстающие поверхностные слои бетона, поврежденные участки, а также очистить от загрязнения. После чего поверхность рекомендуется промыть водой.

Влияние различных способов обработки поверхности на сцепление между старым и новым бетоном изучалось в работе К. Хагера и И. Неининга [1]. В данной работе поверхности были приняты 2-х видов: 1) необработанная, образованная строганой доской; 2) насеченная зубилом. Кроме того, в обоих случаях изучалось влияние смачивания поверхности. На основании результатов данной работы построена гистограмма, представленная на рисунке 1.7.

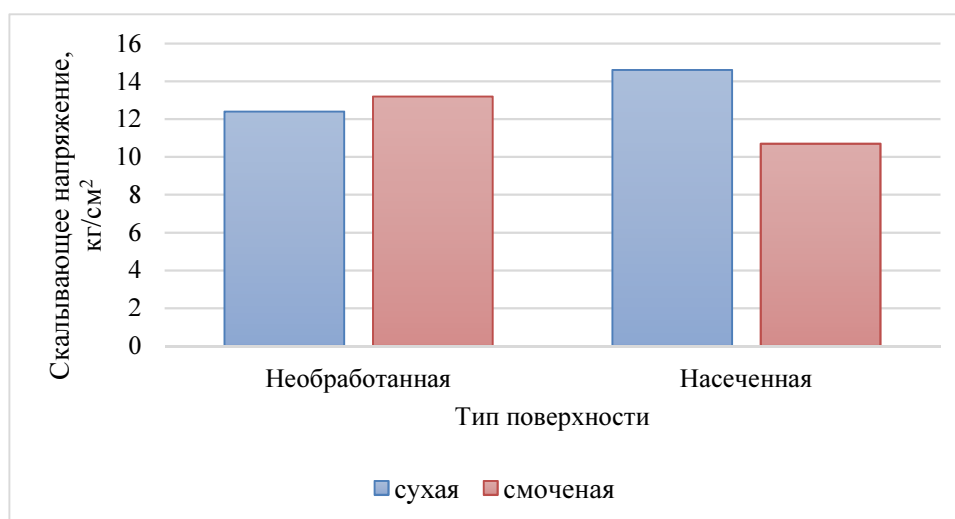
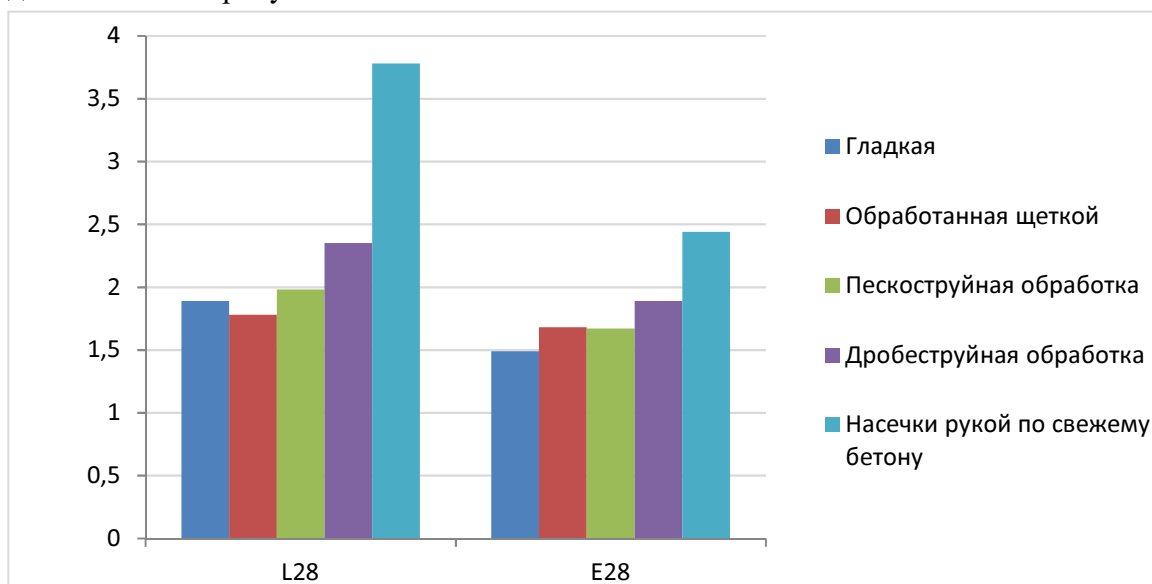


Рисунок 1.7 – Влияние типа обработки поверхности на величину скалывающего напряжения в опытах К. Хагера и И. Неининга

Таким образом в опытах Хагера достаточно четко прослеживается увеличение сопротивления сцепления срезу при насечке поверхности, но без дальнейшей ее обработки, такой как смачивание.

Таким образом, устройство шероховатости поверхности старого бетона, отверстий, пазов, анкерующих шпонок, выпусков, змеек способствуют увеличению прочности контактного шва.

Бетон укладывается на влажную, но не мокрую поверхность, так как избыток воды понижает прочность сцепления. Образовавшиеся после промывки поверхности лужицы воды необходимо убрать, особое внимание этому нужно уделять при промывке горизонтальных поверхностей.

Прочность контактного шва в значительной мере определяется составом бетонной смеси, а именно классом бетона, подвижностью бетонной смеси, усадкой и др.

Результаты экспериментов в работе [6] показывают, что наибольшее сцепление, достигается, если у сборного бетона и бетона намоноличивания применяются одинаковые или близкие по своим свойствам и минералогическому составу цементы, иначе прочность контактного шва значительно снижается. Это связано с тем, что в зоне контакта бетонов сращивание однородных по минералогическому составу новообразований происходит значительно интенсивнее, чем разнородных.

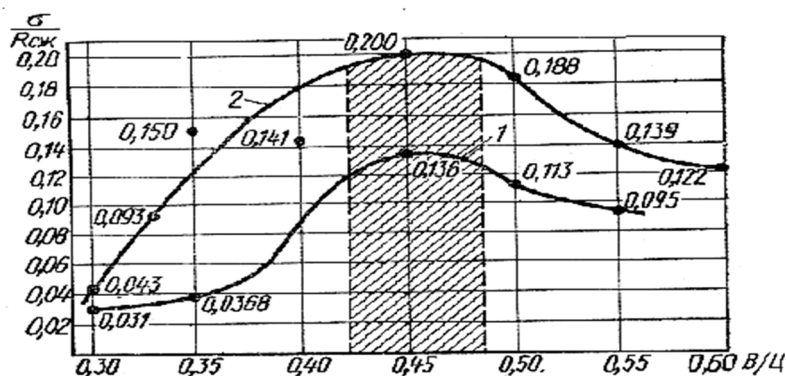
В работе [6] определена функциональная зависимость между сцеплением и *классом бетона* конструкции. Утверждается, что большее сцепление при прочих равных условиях обеспечивают бетоны более высоких классов. Это также подтверждается зависимостью сцепления от прочности бетона на растяжение, т. е. когезии [5].

Однако в работе [7] установлены иные данные, что относительная прочность сцепления с увеличением класса бетона уменьшается, особенно для жестких смесей. Исследования, проводимые в ПГУ по влиянию класса бетона на сцепление сборного бетона и бетона намоноличивания, показали, что этот показатель практически не оказывает существенного влияния на прочность контактного шва.

В работе [8] указывается, что наибольшее сцепление может быть достигнуто при средней *подвижности* ($V/C=0,4-0,5$). При использовании литых или очень жестких смесей сцепление снижается. В других источниках оптимальное значение V/C колеблется в пределах $0,43-0,48$, рис.1.8.

В работе [9] указывается, что при укладке малоподвижных и жестких смесей даже при виброуплотнении трудно обеспечить надежный контакт и хорошее сцепление. Это связано с уменьшением сплошности сцепления бетонов и как следствие уменьшение фактической площади контакта. А при применении весьма подвижных смесей, в т.ч. литых, резко возрастает деструктивное влияние усадки, которое приводит к нарушению адгезионно-когезионных связей и уменьшению сцепления [10]. Следует учесть, что на усадочные деформации влияют количество и вид цемента и крупность заполнителя [11].

Таким образом, *усадка* бетона в значительной степени влияет на прочность контактного шва и, используя пластифицирующие добавки ее можно уменьшить [12].



1 – для мелкозернистого бетона; 2 – для бетона на крупном заполнителе
 Рисунок 1.8 – Зависимость относительного сцепления между сборным бетоном и бетоном намоноличивания от водоцементного отношения нового бетона

Прочность контактного шва также зависит от уплотнения бетонной смеси и условий твердения.

Большое влияние на прочность контактного шва оказывает *влажность сборного бетона* [1,12,15]. При насыщении водой сборного бетона в нем происходят деформации набухания. После укладки нового бетона в старом и новом уменьшается разница в величине деформаций усадки вследствие гистерезиса усадки и набухания, что в свою очередь повышает прочность сцепления бетонов. В работах [1,15] указывается зависимость между неувлажненной поверхностью сборного бетона и консистенцией бетона намоноличивания. При укладке бетона намоноличивания с пластичной консистенцией на несмоченную поверхность сборного бетона прочность контактного шва возрастает, а при укладке литой бетонной смеси резко снижается.

В работах Р. Девиса также отмечается влияние различных методов укладки бетонной смеси на прочность сцепления. Основным выводом Р. Девиса по проведенной им работе является следующее:

- уплотнение бетона внутренней вибрацией дает значительное увеличение прочности сцепления по сравнению с тромбованием;
- применение поверхностной вибрации совместно с внутренней не дает увеличения прочности по сравнению с одной внутренней;
- если поверхность старого бетона все время до укладки нового находится во влажной среде, прочность сцепления увеличивается, с увеличением перерыва в бетонировании.

Следует так же отметить неблагоприятное влияние на сцепление разности усадки нового и старого бетона, поэтому большое внимание уделяется обеспечению влажностного режима для уложенного бетона. На рисунке 1.9 представлена обработка результатов российских ученых [1]. При медленном твердении нового бетона конечная прочность шва обладает, как правило, более высокой прочностью, чем при быстром твердении. Влияние условий твердения также рассмотрено в работе португальских, российских ученых и исследованиях на базе ПГУ [2,1,18].

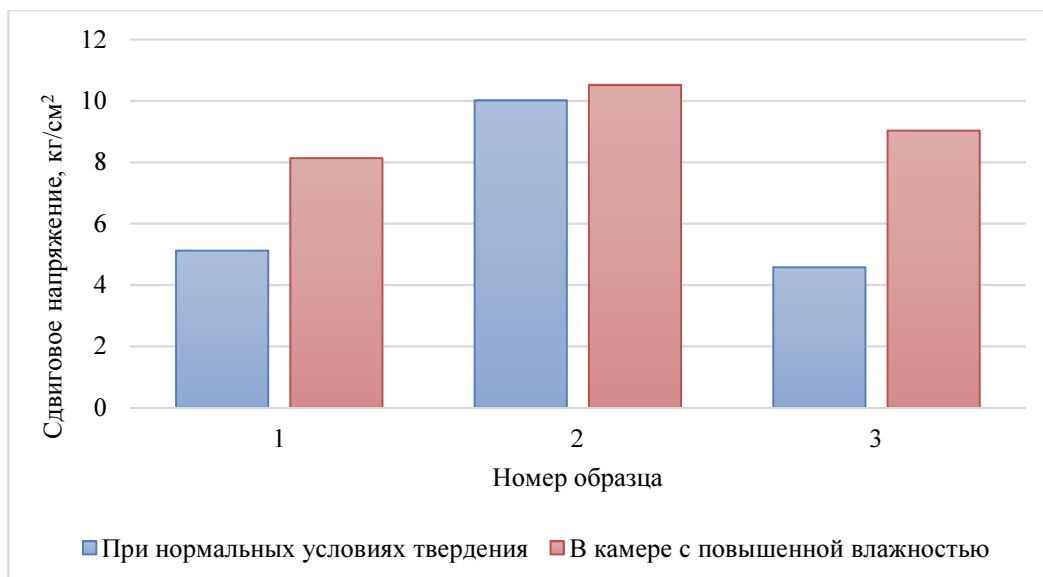


Рисунок 1.9 - Влияние условий хранения образцов на величину сцепления, по результатам испытаний Гвоздева А.А.

Таким образом, можно сделать выводы:

- существует достаточное количество технологий по подготовке поверхности контактного шва. Наиболее простым и доступным методом является механическая подготовка;

-сопротивление сдвигу зависит от следующих факторов: фактическая площадь контакта, увлажнения поверхности бетона, состава бетонной смеси, класса бетона, водоцементного соотношения, подвижности и уплотнения бетонной смеси, усадки бетона и уходом за ним в период твердения.

1.3 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОНОВ В СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В последнее время модифицированные бетоны широко используются в новом строительстве, при реконструкции и техническом перевооружении, так как они позволяют не только сократить энергоемкость и расход цемента, но и снизить трудоемкость укладки бетонной смеси, за счет частичного или полного исключения операций по ее уплотнению и др. Применение модификаторов позволяет повысить качество бетонных работ.

В современном мире практически любой бетон является модифицированным. На рынке огромное множество различных добавок. Согласно [16] добавки для бетонов в

зависимости от назначения (основного эффекта действия) классифицируют следующим образом, рис. 1.10:

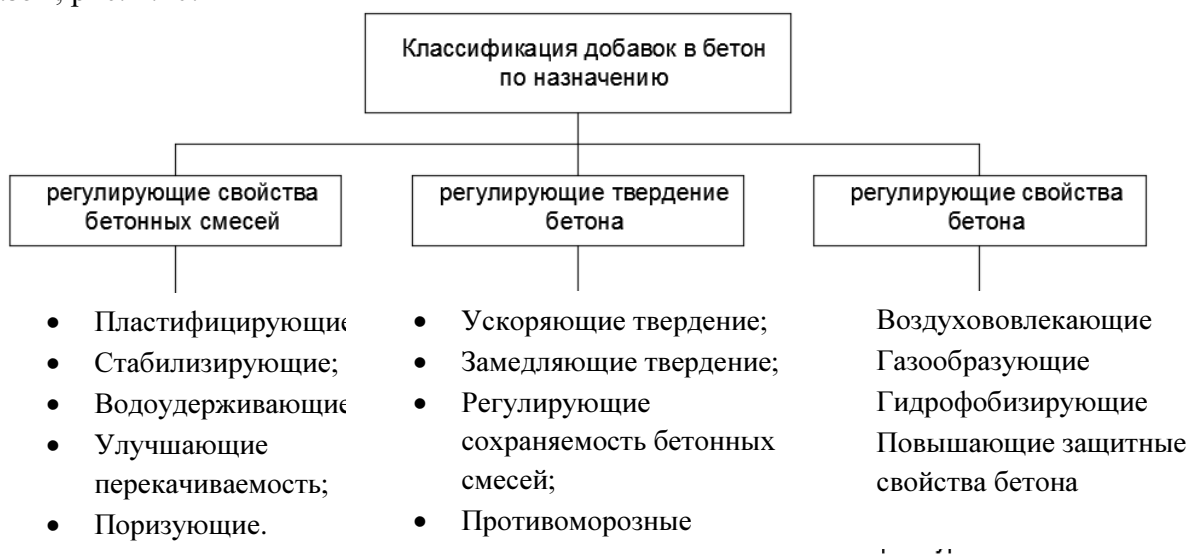


Рисунок 1.10 – Классификация добавок в бетон по назначению

В Витебской области широкое применение нашли такие добавки как: С-3, различные модификаторы фирмы Стахема и др. В таблице 1.1 приведены наиболее распространенных в настоящее время пластифицирующие добавки и рекомендуемые для них дозировки.

Таблица 1.1 – Средняя стоимость и рекомендуемые дозировки модифицирующих добавок

Наименование	Стоимость руб/л	Рекомендации дозировки в % от массы цемента
Стахемент F суперпластификатор	3,50	0,5-1,5
Стахемент 2000М гиперпластификатор	2,20	0,3-1,2
Стахемент гиперпластификатор	1,72	0,5-1,8
С-3 суперпластификатор	0,60	0,9-2,5
Нидоксан-строй	1,00	0,08-0,15
Стахемент 2010 гиперпластификатор	1,00	0,8-1,5

На базе Полоцкого государственного университета на протяжении более 10 лет проводится ряд исследований влияния модификаторов на прочность контактного шва, исследования проводились с бетонами модифицированными добавками СПС, Суперпласт РТ, Стахемент F, Стахемент-2000М и др. [17-23]. Анализ этих работ подтверждает тот факт, что введение в бетонную смесь модификаторов, в определённом количестве, благоприятно сказывается на прочности контактного шва по сравнению с бездобавочными бетонами, и концентрация модификатора оказывает влияние на прочность контактного шва. Подобные исследования проводились также в других вузах Республики Беларусь и в Российской Федерации [23,24]. На основании результатов, полученных в [17-23] построена гистограмма о влиянии модификаторов на прочность контактного шва, представленная на рисунке 1.11.

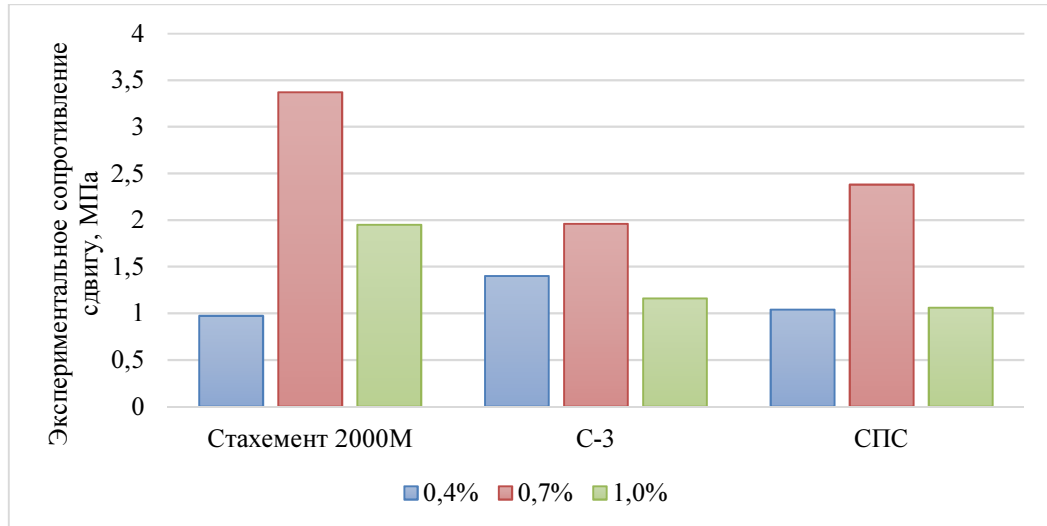


Рисунок 1.11 – Изменение прочности контактного шва в зависимости от количества

Для модификаторов Стахемент F и Суперпласт РТ повышение прочности контактного шва показали образцы с концентрацией добавки в количестве 0,51% от массы цемента, по сравнению с бездобавочными.

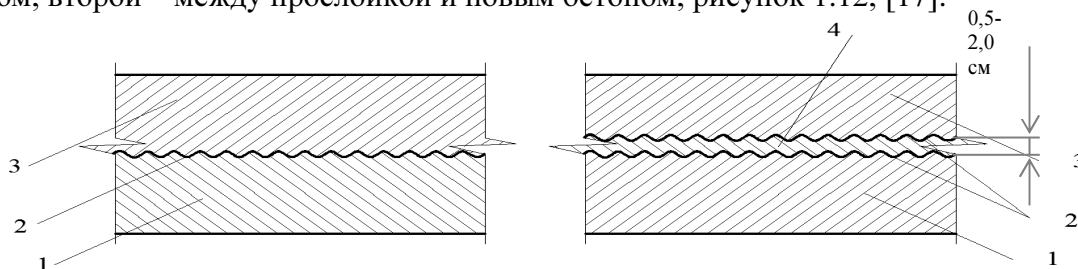
На основании вышесказанного можно сделать вывод:

- 1) использование модифицированных бетонов благоприятно сказывается на сопротивлении сдвигу контактного шва. Сопротивление сдвигу может увеличиваться от 2-х до 4-х раз в зависимости от модификатора;
- 2) Стоимость модификаторов высока, как и их расход в конструкции, поэтому необходимо рассмотреть вопрос об использовании прослоек.

1.4 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОСЛОЕК В СОСТАВНЫХ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Использование модификаторов в бетон для улучшения сцепления и увеличения прочности соединения старого и нового бетонов – это установленный факт, который имеет достаточно большой и убедительный материал в области исследований [17-27]. На сегодняшний день имеется большое количество модифицированных добавок, и все они широкодоступны и способствуют уменьшению энерго и трудозатрат. Для больших объемов работ применение модифицирующих добавок может оказаться весьма затратным и не целесообразным, так как стоимость модифицированных бетонов выше стоимости обычных бетонов. Что же касается использования прослоек и грунтовок, пропиток и др., то этот вопрос не получил достаточно полного освещения. Прослойки же, в свою очередь, выделяются следующими характерными чертами: во-первых они создают своего рода демпфер между старым и новым бетоном и могут решить вопросы уменьшения усадки, во-вторых количество модификатора в прослойки может быть меньше, чем в конструкции и здесь будет иметь место существенная экономия модификатора.

Следует отметить, что в обычных составных конструкциях имеется один контактный шов, в то время как при устройстве прослоек необходимо обеспечить прочность сцепления двух контактных швов: первый контактный шов между прослойкой и старым бетоном, второй – между прослойкой и новым бетоном, рисунок 1.12, [17].



1 - старый бетон; 2 – контактный шов; 3 – бетон намоноличивания; 4 прослойка.
Рисунок 1.12 – Наличие одного и нескольких контактных швов в конструкции с прослойкой и без.

Кроме того, известны исследования с нанесением на поверхность старого бетона цементного раствора, цементного теста и посыпки цементом [1]. По результатам работ К.Хагера и И. Неининга присыпка цементом по смоченной поверхности снизила прочность сцепления, в то время как нанесение на поверхность цементного раствора резко повысило сопротивление сцепления. По результатам, полученным в работе К. Хагера, построены графики представленные на рисунках 1.13 – 1.14.

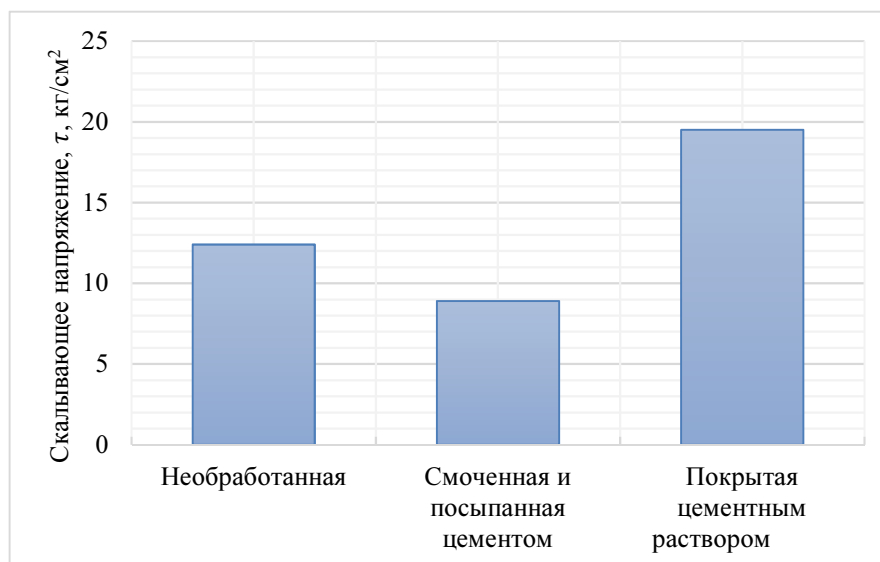


Рисунок 1.13 – Изменение скалывающего напряжения в зависимости от вида поверхности сцепления

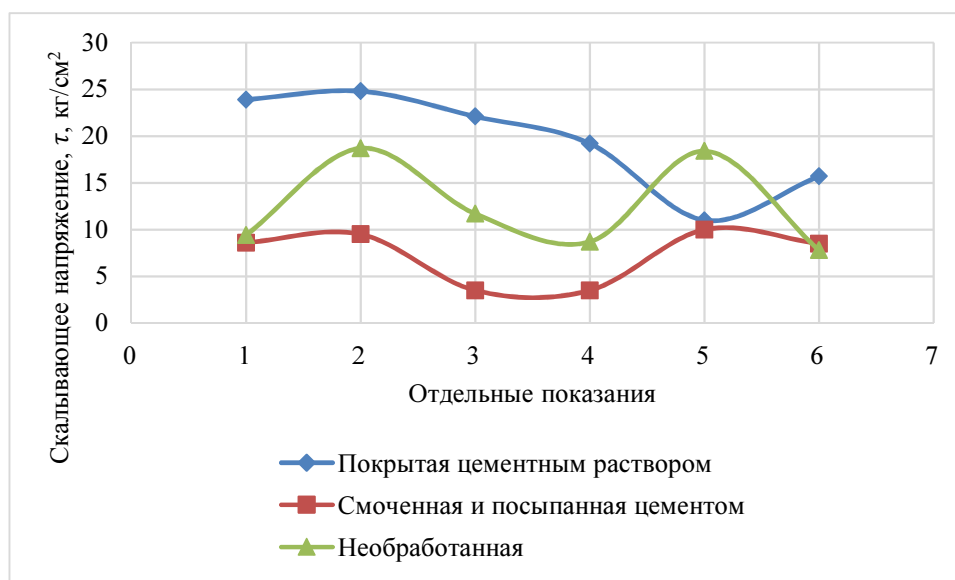


Рисунок 1.14 – Неоднозначность показаний для образцов одной серии

Данные полученные в ходе испытаний К. Хагера, как видно из графика на рисунке 1.13, не однозначны, некоторые показания различаются в 2 раза для одной серии. Такое расхождение значений говорит о высокой чувствительности сцепления к различным факторам, которые могут возникать во время изготовления и хранения образцов.

Так же нанесение на поверхность цементного раствора непосредственно перед укладкой нового бетона встречается в опытах Р. Девиса [1], при изучении сцепления старого бетона с новым. Результаты этой работы, касающиеся влияния слоя цементного раствора на прочность контактного шва, были обработаны и представлены в виде гистограммы на рисунке 1.15.

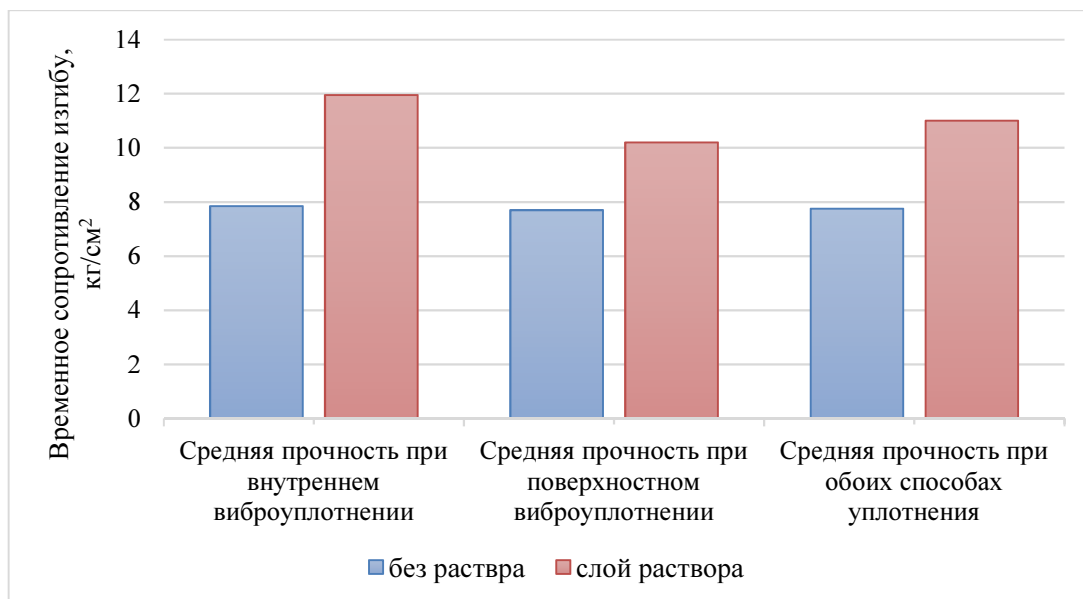


Рисунок 1.15– Влияние слоя раствора на прочность контактного шва

Из выше приведенной диаграммы видно, что покрытие поверхности старого бетона слоем цементного раствора непосредственно перед укладкой нового бетона значительно повышает прочность сцепления. Что в очередной раз подтверждает целесообразность применения прослоек на основе цементных систем.

Так как в настоящее время, широкое применение в строительстве получили модифицирующие добавки, стоит рассмотреть вопрос рациональности использования прослоек на основе модифицированных систем. Можно предположить, что применение таких прослоек позволит сократить расходы на дорогостоящие добавки, при этом не ухудшая качества контактного шва и даже значительно повысив его. Однако данный вопрос требует детального изучения.

На базе Полоцкого государственного университета было проведено исследование по изучению влияния модифицирующей добавки Стахемент 2000М в прослойке и ее концентрации [17]. Влияние различной концентрации модификатора на прочность контактного шва показана на рисунке 1.16.

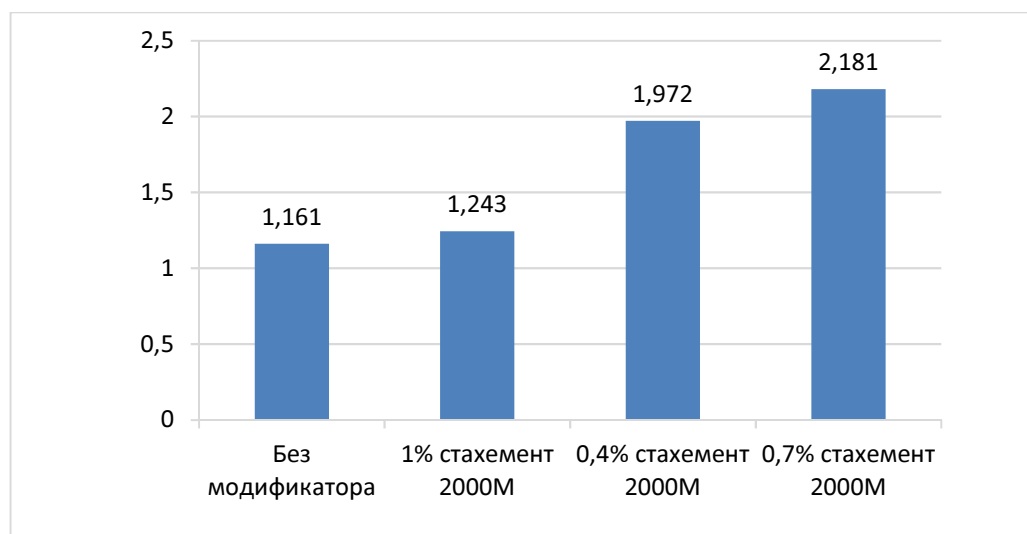


Рисунок 1.16 – Влияние гиперпластификатора Стахемент 2000М на прочность контактного шва.

Как видно из работы [17], применение прослоек на основе модифицированных цементных систем может увеличить прочность контактного шва вплоть до 2-х раз в зависимости от концентрации добавки (рисунок 1.16).

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- использование прослоек на основе цементных систем повышает прочность контактного шва;

-использование прослоек на основе модифицированных цементных систем может еще более значительно повысить сопротивление контактного шва сдвигу.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1:

1. Применение прослоек целесообразно, так как количество модификатора в прослойки может быть меньше, чем в конструкции и здесь будет иметь место существенная экономия модификатора. Прослойки создают своего рода демпфер между старым и новым бетоном и могут решить вопросы уменьшения усадки.
2. Использование прослоек на основе цементных систем повышает прочность контактного шва.
3. Использование прослоек на основе модифицированных цементных систем может еще более значительно повысить сопротивление контактного шва сдвигу.

ГЛАВА 2 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для экспериментальных исследований использовались конструкции, состоящие из старого бетона, нового бетона и прослойки между ними. Были изготовлены три серии образцов: 1) Г-0 – состоящая из старого и нового бетона без прослойки; 2) Г-1 – состоящая из старого и нового бетона с обычной цементно-песчаной прослойкой; 3) Г-2 – состоящая из старого и нового бетона с прослойкой, модифицированной Стахемент-2010. Состав нового бетона (бетона намоноличивания) представлен в таблице 2.1. Составы цементно-песчаных прослоек представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Состав для бетона намоноличивания:

Бетон намоноличивания		
	1 м ³	0,035 м ³
Цемент, кг	400	14
Песок, кг	780	27,3
Щебень, кг	1100	38,5
Вода, л	185	6,5

Таблица 2.2 – Составы для цементно-песчаной проилойки:

Цементно-песчаная прослойка				
	Обычный состав		Состав со Стахемент-2010, 0.8%	
	1 м ³	0,001 м ³	1 м ³	0,001 м ³
Цемент, кг	3000	3	3000	3
Песок, кг	9000	9	9000	9
Вода, кг	2250	2,25	2100	2,1
Стахемент-2010, л	-	-	2,4	0,0024

Для приготовления бетона намоноличивания и цементно-песчаной прослойки использовали следующие материалы:

1. Цемент: портландцемент марки М500. Цементы испытывались в соответствии с ГОСТ 310.1-76 [27].

2. В качестве крупного заполнителя использовался щебень, который соответствовал ГОСТ 8269.0-97 [28].

3. В качестве мелкого заполнителя – песок. Качество песка оценивалось по ГОСТ 8736-93 [29].

4. Для затворения бетонной смеси применялась вода, соответствующая требованиям СТБ 1114-98 [30].

5. В качестве добавки применялся гиперпластификатор Стахемент-2010, используемый на ПРУП «Новополюк железобетон». Характеристики добавки представлены в таблице 2.3.

Концентрация модификатора в прослойке была принята 0,8%, как наилучшая, исходя из результатов средней прочности контактного шва $\tau_{ср}$ для трех концентраций модификатора: 0,5%; 0,8% и 1,1% рисунок 2.1.

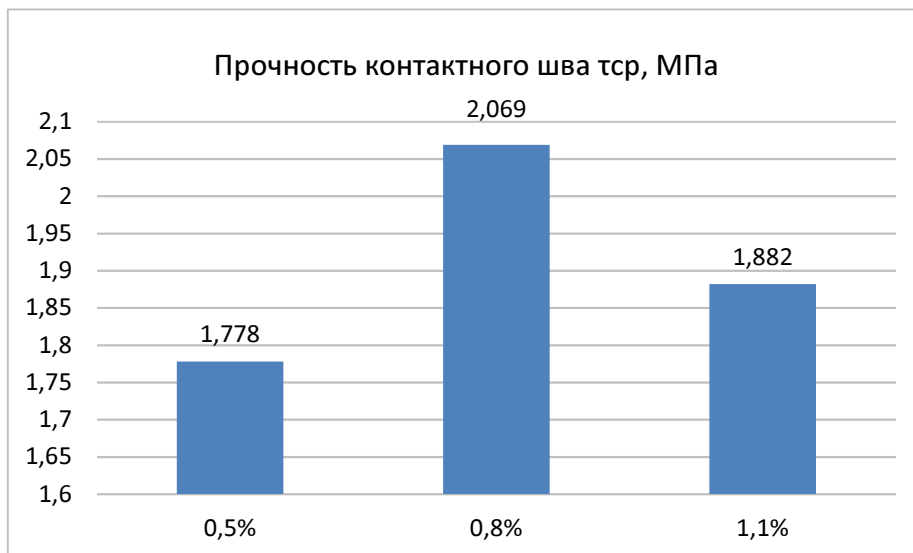


Рисунок 2.1 – Изменение прочности контактного шва в зависимости от концентрации модификатора Стахемент-2010

Таблица 2.3 – Характеристики применяемой добавки Стахемент-2010:

Наименование показателей	Значения показателей для добавки в форме раствора
Внешний вид	Жидкость темно-коричневого цвета
Плотность при 20°C, г/см ³ не менее	1,075± 0,03
Массовая доля сухих веществ, % не менее	30
Показатель активности водородных ионов (рН), 2,5% водного раствора	6
Массовая доля ионов хлора в сухом веществе, не более	Добавка не содержит хлористых солей, нитритов и нитратов
Повышение марки бетонной смеси по удобоукладываемости без снижения прочности во все сроки	от П1 до П5

Таким образом, были подобраны составы нового бетона, а также составы прослоек с модификатором Стахемент-2010 (0,8%) и без модификатора.

2.2. СХЕМА ИСПЫТАНИЙ СОСТАВНЫХ КОНТСТРУКЦИЙ

Испытание всех образцов необходимо провести на сдвиг (срез). Под чистым срезом понимают разделение элемента на части по сечению, к которому приложены перерезывающие силы, но проведение испытаний на чистый срез встречает некоторые затруднения в части выбора надлежащей формы образца и схемы испытаний, однако считается наиболее точным при оценке прочности контактного шва.

Существует достаточно большое количество схем испытаний, а именно срез при сжатии, срез при растяжении, чистый срез. Наибольшие результаты сопротивления сдвигу достигаются при срезе на сжатие. [1]

Для экспериментального определения прочности бетона при срезе наиболее точной методикой (схемой) является схема, используемая при испытаниях К. Хагера (рисунок 2.2) [1].

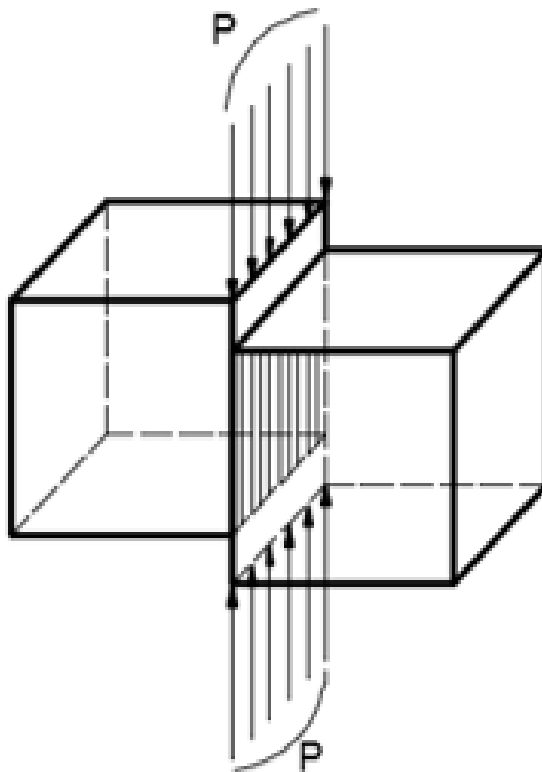


Рисунок 2.2 – Схема нагружения при определении прочности бетона на срез К. Хагера

Такая схема весьма неудобна в работе, так как образцы не обладают устойчивостью и требуют весьма большой точности установки. [1]

Наибольшее количество опытных данных было получено при испытании по схеме, предложенной Е. Мершем (рисунок 2.3).

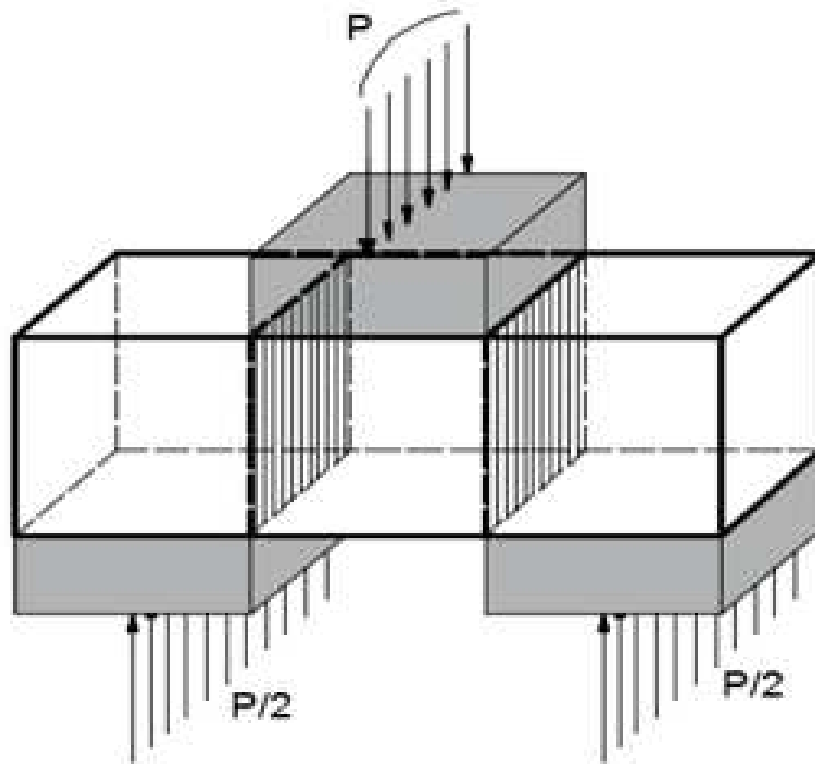


Рисунок 2.3 – Схема нагружения при определении прочности бетона на срез Е. Мерша

Это очень простая и потому заманчивая схема, однако такой образец, кроме среза, испытывает изгиб и местное сжатие (смятие) под прокладками. [32]

На базе Полоцкого государственного университета проводились испытания по схеме, основанной на схеме Е. Мерша, с некоторыми доработка (рисунок 2.4) [33].

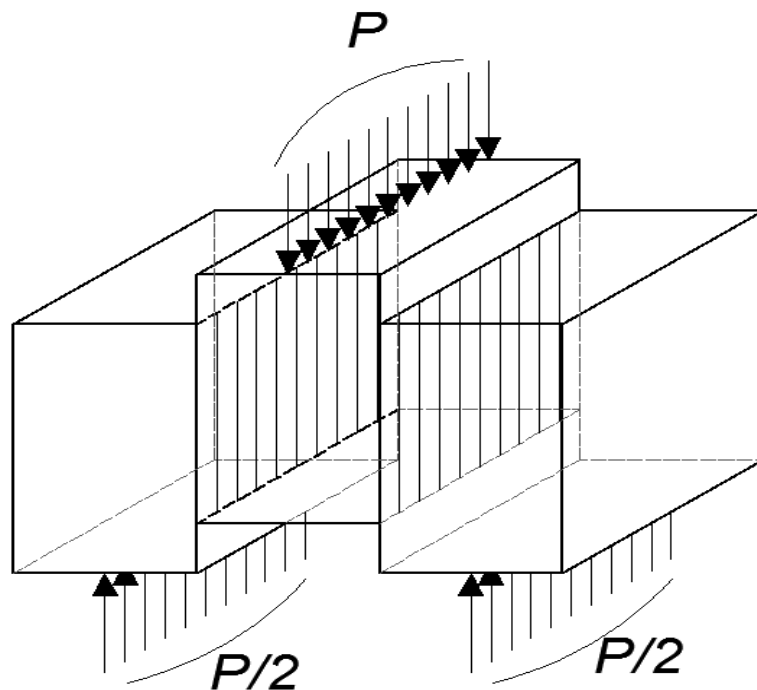


Рисунок 2.4 – Схема нагружения при определении прочности бетона на срез разработанная в ПГУ

Наилучшим образом обеспечивают условия, близкие к чистому срезу, испытания по схеме А.А. Гвоздева, благодаря присутствию «ступеней» (рисунок 2.5) [1].

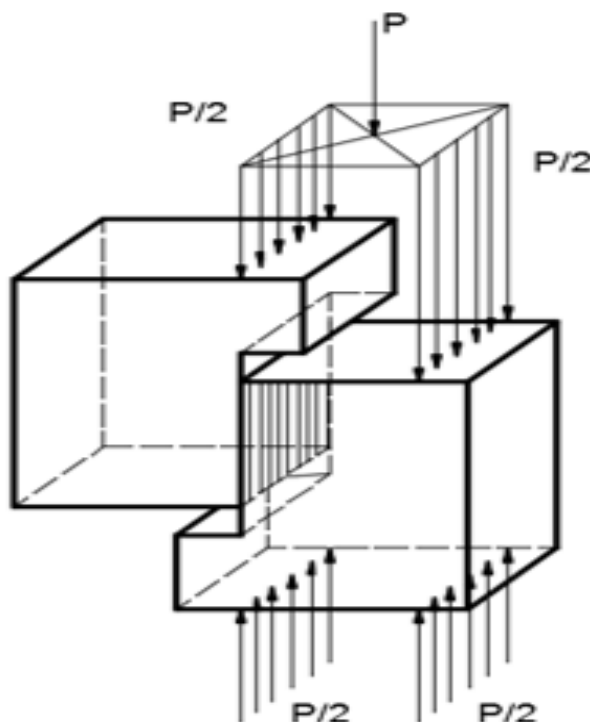
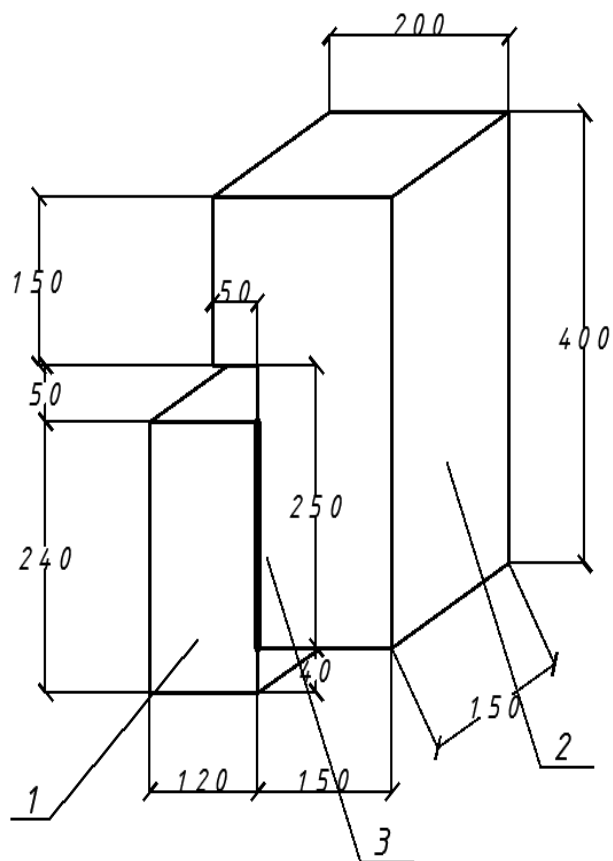


Рисунок 2.5 – Схема нагружения при определении прочности бетона на срез А.А. Гвоздева

В таком устройстве достигается вертикальность действия сил по изучаемому сечению и полная устойчивость образца при испытании. Так же в работе [1] некоторые образцы изготавливались без нижней консоли. В этом случае сокращается высота образца, но в передаче нагрузки возникает небольшой эксцентриситет. Однако исследования [1] показали, что результаты по обеим схемам аналогичны, а, следовательно, величина возникающего эксцентриситета настолько мала, что практического значения не имеет. Данная схема идеальна в части равновесия, что приводит в итоге к чистому срезу.

Сопротивление контактного шва срезу зависит от характера возникающих в стыке усилий. В случае среза при растяжении сопротивление меньше, чем при чистом срезе, а при наличии помимо срезающих сил еще и сжимающих – сопротивление возрастает.

На основании вышесказанного в данной работе было принято решение использовать схему нагружения разработанную в [1], без нижней консоли. Данная схема совмещает все вышепредставленные схемы и в тоже время она себя хорошо зарекомендовала при проведении работ по исследованию контактного шва в Полоцком государственном университете. На рисунке 2.6 представлена схема конструкции с размерами.



- 1 - Старый бетон
- 2 - Бетон намоноличивания
- 3 - Прослойка

Рисунок 2.6 - Схема конструкции с размерами

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- сопротивление контактного шва срезу зависит от характера возникающих в стыке усилий.

- выбрана конструкция для экспериментальных исследований на основе схемы А.А. Гвоздева, но без нижней консоли. Данная схема хорошо зарекомендовала себя при проведении работ по исследованию контактного шва в Полоцком государственном университете.

2.3. ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ КОНТАКТА. ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТИ СТАРОГО БЕТОНА

Из данного выше аналитического обзора можно заключить, что сопротивление сдвигу контактного шва влияют различные приемы предварительной обработки поверхности сопряжения. Потому было принято решение в данной работе ограничиться обычной обработкой поверхности металлическими щетками до шероховатости. Поверхности после обработки были классифицированы в соответствии с ГОСТ 13015,0-83, с присвоением им категории поверхности А5.

Так же шероховатость поверхности образцов определялась методом «песчаного пятна». С помощью данного метода определялась средняя глубина впадин шероховатости поверхности сопряжения $h_{\text{ср}}$. Измерение параметра $h_{\text{ср}}$ производилось следующим образом: на поверхность при помощи мерного стаканчика высыпают порцию мелкого сухого песка (размер зерен от 0,140 до 0,315 мм). Объем порции песка берут в зависимости от типа шероховатости: при мелкошероховатом покрытии – 10 см³, при среднешероховатом – 25 см³ и при крупношероховатом – 50 см³. В нашем случае поверхность мелкошероховатая, поэтому был выбран мерный стаканчик объемом 10 см³. Затем при помощи диска песок распределяют по поверхности. В результате песок должен лежать ровным слоем в виде круга (эллипса), заполняя все впадины шероховатости до уровня наиболее высоких выступов. Среднюю глубину шероховатости $h_{\text{ср}}$ определяют по шкале номограммы, соответствующей выбранному объему порции песка, прикладывая шкалу к диаметру песчаного пятна (рисунок 2.7).

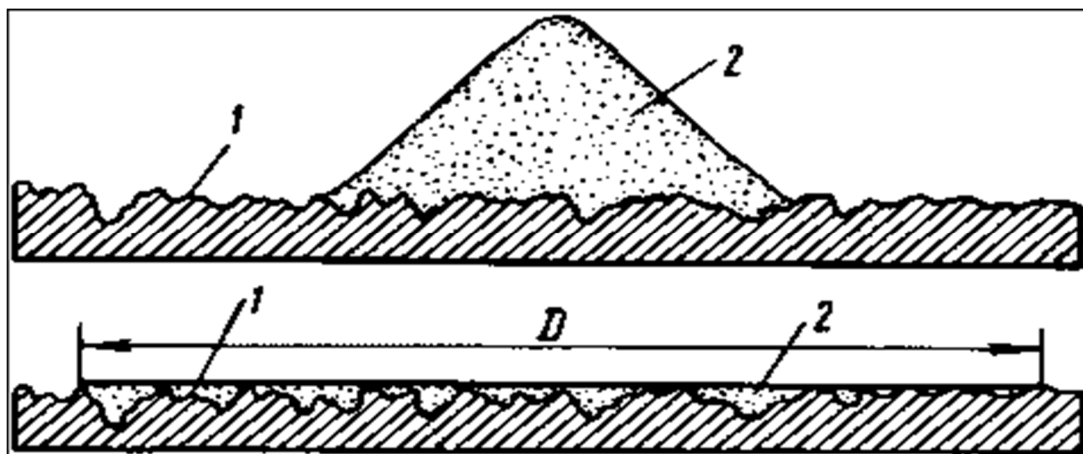


Рисунок 2.7 – Определение средней глубины впадин шероховатости поверхности:
1 – исследуемая поверхность; 2 – песок.

Средняя глубина шероховатости поверхности образцов определяется в пределах до 0,3 мм (рисунок 2.8). Это говорит о том, что поверхность всех образцов имеет практически одинаковую шероховатость.



Рисунок 2.8 - Определение средней глубины шероховатости поверхности методом «песчаное пятно»

Таким образом поверхность старого бетона перед испытаниям была отнесена к классу А5.

2.4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

При разработке программы исследований по сцеплению в качестве основной переменной было выбрано наличие цементно-песчаной прослойки в месте сопряжения.

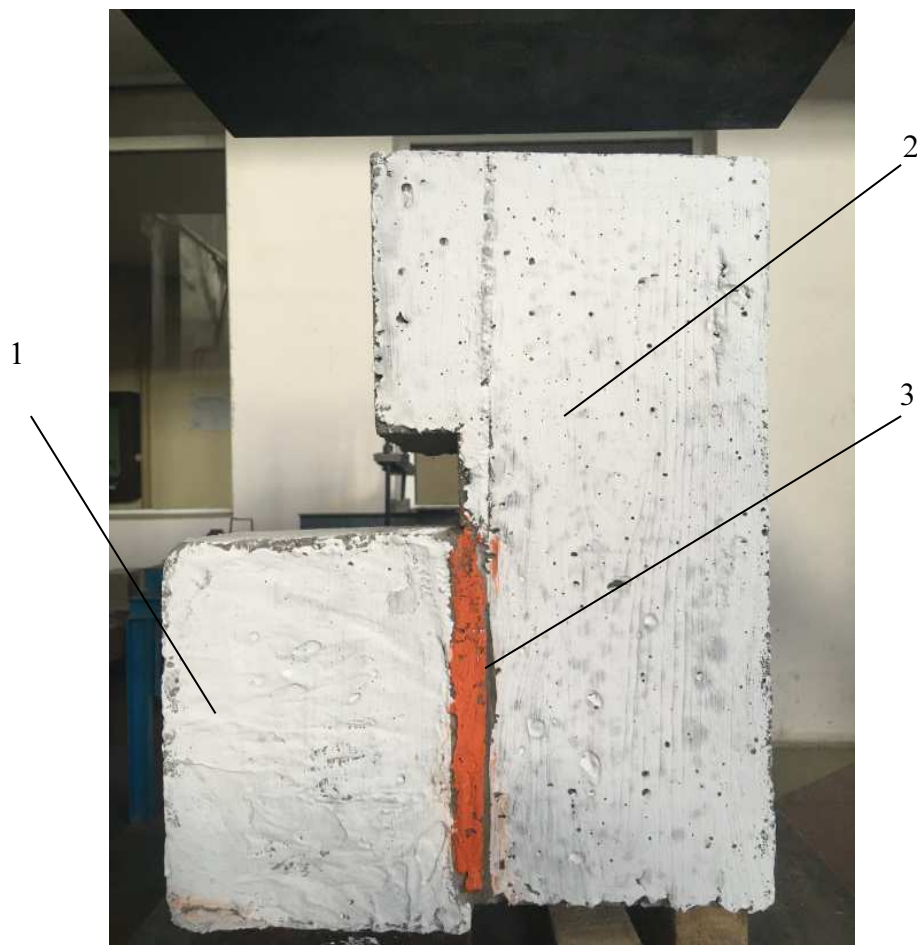
Таким образом к изучению было принято влияние на сопротивление сдвигу следующих факторов:

1. Отсутствие прослойки
2. Влияние наличия обычной цементно-песчаной прослойки в месте сопряжения.
3. Влияние прослойки, модифицированной Стахемент-2010 (0,8%).

Испытания проводились на Г-образных составных элементах. Образцы состояли из двух частей: бетона намоноличивания (нового бетона) и сборного (старого) бетона. Бетон намоноличивания использовался подвижностью П-3 (усадка конуса 10-15см). Цементно-песчаная прослойка использовалась маркой по подвижности Пк-2 (погружение конуса 4-8 см). Фото образца в опалубке представлено на рисунке 2.9. Схема составной конструкции приведена на рисунке 2.10.



Рисунок 2.9 – Фото образца в опалубке



1 – сборный (старый) бетон; 2 – бетон намоноличивания;
3 – прослойка ($\delta=0,5-2,0\text{см}$).

Рисунок 2.10 – Схема составной бетонной конструкции

Поверхность сопряжения перед прибетонировкой очищалась металлической щеткой и промывалась водой. Таким образом в момент укладки нового бетона поверхность сопряжения старого бетона была влажной.

Испытания проводились на следующих группах образцов:

Г-0: прибетонирование производилось без использования прослоек, непосредственно на предварительно подготовленную поверхность сборного бетона;

Г-1: перед укладкой нового бетона на предварительно подготовленную поверхность старого бетона укладывалась цементно-песчаная прослойка слоем толщиной 1 см. Затем, не позднее чем через 30-60 минут после устройства прослойки, укладывался бетон намоноличивания;

Г-2: использовалась цементно-песчаная прослойка с добавлением гиперпластификатора Стахемент-2010 в количестве 0,8% от массы цемента, слоем толщиной 1 см.

Технология изготовления составных конструкций всех серий была одинакова. Одновременно с цементно-песчаной прослойкой изготавливались образцы прослойки и бетона намоноличивания – кубы размерами 100x100x100 мм.

При проведении исследований определялась прочность контактного шва, а также изучался характер разрушения опытных образцов.

Испытания проводились в соответствии с нормативными документами после набора прочности бетона на монолитивания в естественных условиях. Конструкции испытывались на сдвиг при помощи гидравлического пресса П-125 по общепринятому ступенчатому кратковременному режиму нагружения. Испытания образцов производились с использованием аттестованного оборудования и поверенных средств измерения (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Оборудование, используемое при испытании образцов на растяжение

Наименование ИО и СИ	Заводской номер	Номер свидетельства о поверке
Пресс гидравлический П-125	№4448	№2546-м до 04.07.2018
Весы напольные 150МГ	№1	Клеймо по 10.2018
Весы РН-10Ц-13У	-	№07977 до 10.2018
Штангенциркуль ШЦ-1	№Н37135	№3554-м до 03.10.2018
Линейка измерительная ЛИ-500	-	Клеймо по 10.2018
Прибор Терем-4	№602709	№2797-м до 25.07.2018

Нагрузка на образец разбивалась на части и передавалась в верхней части образца точно над изучаемым сечением (контактным швом), и на нижнюю часть образца с помощью стойки. (Рисунки 2.9-2.10) Передача нагрузки на нижнюю часть выполнялась для обеспечения устойчивости образца. Для регистрации сдвиговых деформаций использовался комплекс Терем-4, который записывал значения через каждые 10 секунд, характеристики прибора представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Характеристики прибора Терем-4

Количество каналов регистрации	8...256
Количество адаптеров, подключаемых к центральному блоку	1...
Количество датчиков, подключаемых к одному адаптеру	1...55
Период отсчетов минимальный / максимальный	10 сек/ 24 часа
Диапазоны измерения параметров и погрешность	по заказу
Аппаратная погрешность, %, не более	0,1
Длина линии связи центрального блока с адаптерами, м, не более	500
Длина линии связи датчиков с адаптерами, м	5-50
Объем памяти, Мбайт	До 1
Максимальное количество отсчетов	10^5

Схема расстановки приборов и схема испытаний, принятая в эксперименте представлены на рисунках 2.11-2.12.



Рисунок 2.11 - Схема расстановки приборов, принятая в эксперименте



Рисунок 2.12 - Схема испытания, принятая в эксперименте

Так же в ходе работы определялись прочностные характеристики старого бетона и бетона намоноличивания (в возрасте 28 суток) методом ударного импульса при помощи прибора ИПС-МГ4.03 (рисунок 2.13). Результаты испытаний приведены в таблице 2.6.



Рисунок 2.13 – Прибор для измерения прочности бетона методом ударного импульса ИПС-МГ4.03

Так как бетон намоноличивания заливался сериями, для каждой группы образцов определялось среднее значение показателя прочности.

Таблица 2.6 – Показания прочности испытываемых образцов, полученные методом ударного импульса

Серия	Прочность бетона намоноличивания, МПа	Ср. значение прочности бетона намоноличивания для каждой группы образцов, МПа	Прочность старого бетона, МПа	Ср. значение прочности старого бетона для каждой группы образцов, МПа
Г-0	49.65	48.43	32.9	33,3
	48.25		33.3	
	47.38		33.7	
Г-1	29.9	29.73	28.8	35,97
	27.7		42.8	
	31.6		36.3	
Г-2	30.6	31.23	42.5	38,87
	33.2		30.1	
	29.9		44.0	

Таким образом, были изготовлены 3 серии образцов для испытаний, были залиты кубики нового бетона и прослойки, прочность старого и нового бетона была измерена методом ударного импульса.

2.5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В ходе проведения исследований определялась прочность сцепления старого бетона с новым, а также изучался характер разрушения опытных образцов.

Результаты испытаний представлены в таблицах 2.7 – 2.8.

По работе под нагрузкой все испытываемые образцы не отличались между собой. Разрушение во всех случаях носило резкий, внезапный характер и заключалось в отделении одной части образца от другой по плоскости среза. При разрушении бетон намоноличивания и прослойка работали монолитно (как единое целое). Общий вид образца после разрушения представлен на рисунке 2.14.



Рисунок 2.14 – Общий вид образца после разрушения

Не смотря на одинаковые показания, полученные методом песчаного пятна, образцы, дополнительно, разделялись по порам, от меньшего к большему.

Таблица 2.7 – Результаты испытаний составных элементов

Серия	Площадь контакта, см	Сопротивление сдвигу в образцах, τ , МПа			
		1	2	3	средн.
Г-0	20x15	0,833	1,144	1,229	1,069
Г-1	20x15	1.083	1.167	1.417	1.222
Г-2	20x15	1.854	2.083	2.146	2.028

Некоторые показания для одной группы образцов различаются до 30%. Такое расхождение значений говорит о высокой чувствительности сцепления к различным факторам, возникающим во время изготовления и хранения образцов. В данном случае такое расхождение значений могло быть вызвано наличием крупного заполнителя на поверхности сцепления.

Таблица 2.8 – Полученная кубиковая прочность цементно-песчаной прослойки

Серия	Экспериментальная кубиковая прочность цементно-песчаной прослойки, в возрасте 28 суток, МПа			
	R ₁	R ₂	R ₃	R _{ср}
Г-1	19.85	26.25	24.25	23.45
Г-2	28.25	31.4	31.88	30.51

Анализ поверхностей разрушения показал, что поверхность бетона намоноличивания имела приставшие частицы сборного бетона, однако в образцах группы Г-2 разрушение произошло по прослойке, по контактному шву между старым бетоном и прослойкой. В образцах группы Г-1 количество приставших частиц меньше чем в группе Г-2, а в группе образцов Г-0 их количество было наименьшим. Это связано с более плотной и однородной структурой при наличии модификатора. Общий вид поверхности разрушения приведен на рисунке 2.15.





2



3

1 – образец группы Г-0; 2 - образец группы Г-1; 3 - образец группы Г-2;
Рисунок 2.15 – Общий вид поверхностей разрушения

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2:

1. Разрушение образцов всех серий произошло по контактному шву. Разрушение во всех случаях носило резкий, внезапный характер и заключалось в отделении одной части образца от другой по плоскости среза.
2. Группа образцов Г-1 разрушилась по контактному шву старого бетона с прослойкой. Новый бетон с прослойкой работал монолитно. Поверхность бетона намоноличивания имела приставшие частицы прослойки.
3. В группе образцов Г-2 разрушение также произошло по прослойке. В данной группе зафиксировано наибольшее количество приставших частиц прослойки к сборному бетону. Это связано с более плотной и однородной структурой при наличии модификатора.
4. В образцах группы Г-0 количество прилипших частиц было наименьшим.

ГЛАВА 3

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

3.1 РАСЧЕТ СОПРОТИВЛЕНИЯ СДВИГУ КОНТАКТНОГО ШВА СОСТАВНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Согласно ТКП EN 1992-1-1-2009 [34] расчетное сопротивление срезу (сдвигу) по контакту определяется по формуле:

$$V_{rd} = cf_{cd} + \mu\sigma_n + \rho f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin\alpha + \cos\alpha) \leq 0,5vf_{cd} \quad (3.1)$$

Где:

c и β – коэффициенты, зависящие от шероховатости поверхности контакта;

f_{cd} – расчетное сопротивление бетона на растяжение, МПа;

μ – коэффициент трения между напрягаемыми арматурными элементами и их каналами;

σ_n – напряжение, вызванное наименьшей внешней нормальной силой, действующей перпендикулярно контакту, которое может действовать одновременно с поперечной силой;

$$\rho = A_s/A_i,$$

Где:

A_s – площадь сечения арматуры, проходящего через контакт, включая обычную поперечную арматуру (если имеется), с достаточным анкерным креплением с обеих сторон контакта;

A_i – площадь контакта;

f_{yd} – расчетное значение предела текучести арматуры;

α – в пределах от 45° до 90° ;

v – понижающий коэффициент к прочности бетона.

В нашем случае, для расчета нормативного значения сопротивления срезу (сдвигу) формула будет иметь вид:

$$V_{rk} = cf_{ctk,0,05} \quad (3.2)$$

Коэффициент c принимаем, согласно п.6.2.5 ТКП EN 1992-1-1-2009 варьируется в пределах от 0,015 до 0,5. Шероховатость создавалась щетками, тип поверхности отличается от очень гладкой. В нашем случае глубина шероховатости до 3 мм, поэтому применяем усредненный коэффициент $c=0,3$.

Класс бетона рассчитывается по кубиковой прочности бетонов $f_{c,cube}^G$, которая определяется по результатам, полученным методом ударного импульса, приведенным в таблице 2.8. Расчет ведется по наименьшему значению между бетоном намоноличивания и новым бетоном.

Для образцов группы Г-1 (с обычной цементно-песчаной прослойкой), методом ударного были получены следующие значения для нового бетона (меньшего по прочности по сравнению со старым бетоном): 29,9 МПа, 27,7 МПа и 31,6 МПа.

$$f_{c,cube}^G = \frac{31,6 + 29,9 + 27,7}{3} = 29,73 \text{ МПа}$$

Согласно таблице 3.1 ТКП EN 1992-1-1-2009 - $f_{ctk,0,05} = 1,784$ МПа

Нормативное сопротивление срезу (сдвигу) по контакту, равно:

$$V_{rk} = 0,3 \cdot 1,784 = 0,535 \text{ МПа}$$

Экспериментальное сопротивление срезу (сдвигу) для образцов группы Г-1 – 1,222 МПа > 0,535 МПа. Условие выполняется. Прочность контактного шва обеспечена.

Аналогичный расчет проводится для серии Г-0 и Г-2. Результаты расчетов представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты расчета сопротивления срезу (сдвигу) по ТКП EN 1992-1-1-2009:

Серия	Нормативное сопротивление срезу (сдвигу) по ТКП, МПа	Экспериментальное сопротивление срезу (сдвигу), МПа	Средняя прочность старого бетона, $f_{c,cube}^G / f_{ctk,0,05}$, МПа	Средняя прочность нового бетона, $f_{c,cube}^G / f_{ctk,0,05}$, МПа	Условный класс бетона (наименьшего) C'
Г-0	0,567	1,069	33,3/1,89	48,43/2,41	C _{33,3} ^{26,64}
Г-1	0,535	1,222	35,96/1,97	29,73/1,78	C _{29,73} ^{23,78}
Г-2	0,551	2,028	38,87/2,05	31,23/1,84	C _{31,23} ^{24,98}

На основании полученных данных установлено, что ТКП EN 1992-1-1-2009 не в полной мере позволяет рассчитывать сопротивление сдвигу контактного шва (рассчитанные значения отличаются от экспериментальных более чем в 2 раза). В первом приближении в качестве типового решения можно применить:

1) Необходима дополнительная корректировка коэффициента s .

2) При расчете нормативного сопротивления контактного шва срезу (сдвигу), в формуле $V_{rk} = c f_{ctk,0,05}$ необходимо использовать дополнительный поправочный коэффициент S , учитывающий работу составной конструкции с обычной и с модифицированной прослойкой. Так, для конструкций без прослоек и конструкций с обычной цементно-песчаной прослойкой, рекомендуется принимать коэффициент $S=1$ (расчет ведем по бетону наименьшего класса); для модифицированных прослоек принимаем $S=2$, $f_{ctk,0,05}$ берем для наименьшего бетона.

3.2 ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПРОСЛОЕК В КОНТАКТНЫХ ШВАХ

Разрушение всех образцов произошло по поверхности старого бетона и прослойки, а бетон намоноличивания и прослойка в составной конструкции работали монолитно. Разрушение по этому контакту не зафиксировано. При анализе поверхности разрушения было выявлено увеличение налипших участков старого бетона к бетону намоноличивания в образцах серии Г-1 и Г-2, данные группы образцов предполагали устройство цементно-песчаной прослойки в зоне сопряжения. Результаты испытаний всех серий образцов представлены на рисунке 3.1

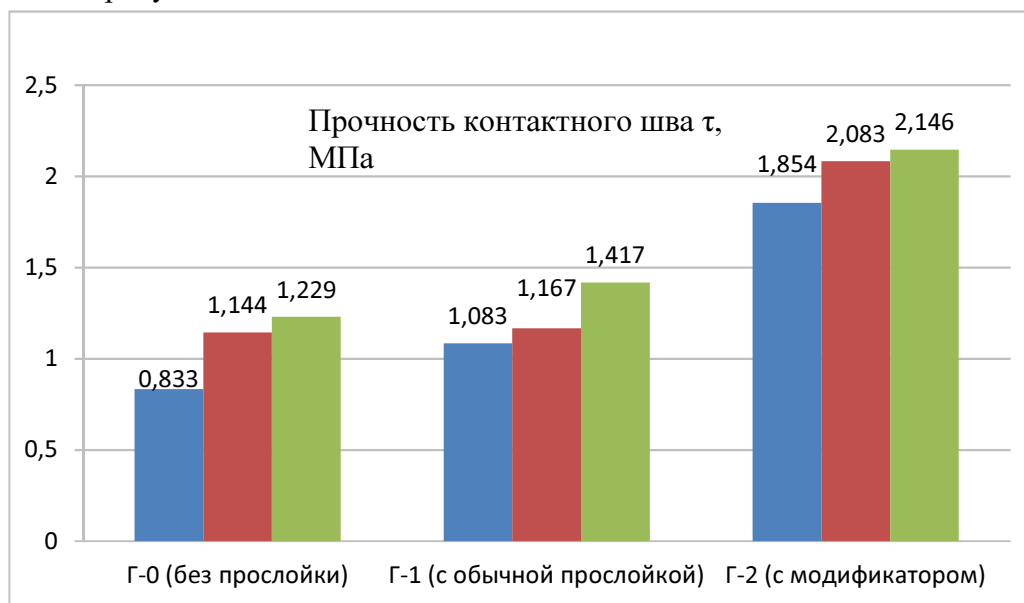


Рисунок 3.1 –Прочность контактного шва в пределах каждой группы образцов

Прочность контактного шва для данной серии образцов Г-1 (с обычной цементно-песчаной прослойкой) возросла на 14,3% по сравнению с образцами без прослойки (Г-0). Для наглядной оценки данных изменений приведена гистограмма на рисунке 3.2.

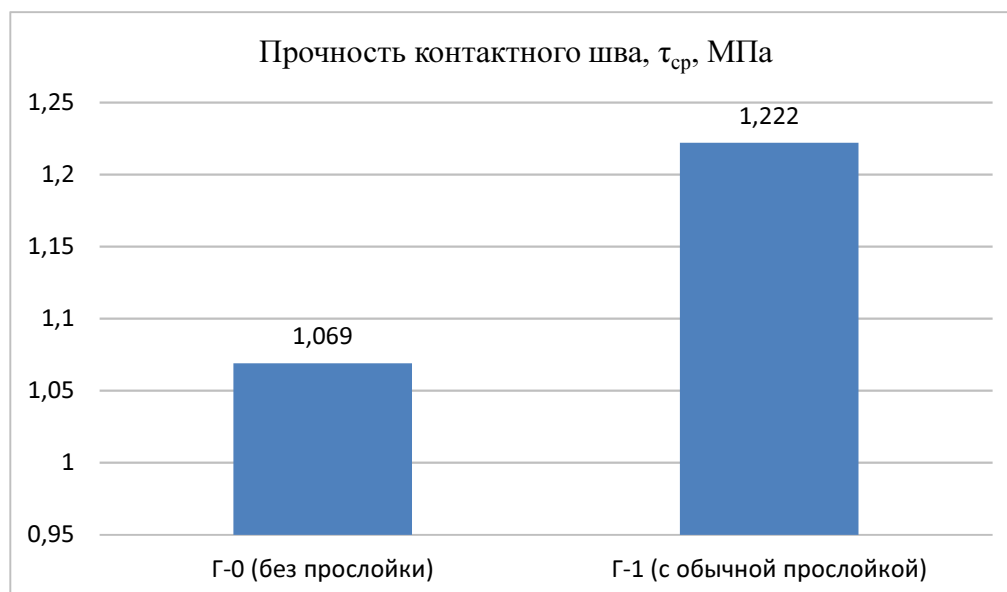
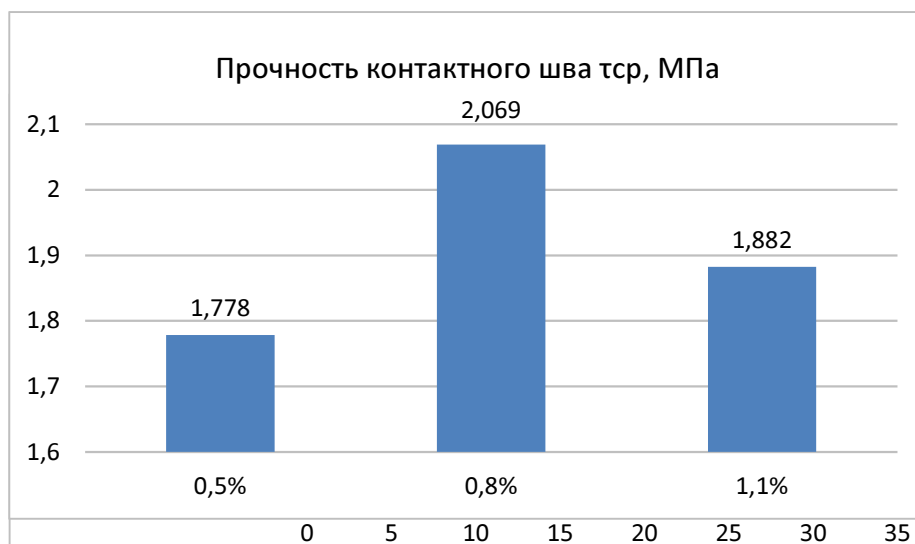


Рисунок 3.2 – Влияние наличия цементно-песчаной прослойки на прочность контактного шва составных элементов.

Были созданы 2 серии образцов с прослойкой, Г-1 и Г-2, которые отличались составами, соответственно с обычной цементно-песчаной прослойкой и прослойкой со Стахемент-2010 (0,8%). Концентрация добавки Стахемент-2010 была выбрана исходя из предыдущего исследования, где она показала наилучшие результаты по сравнению с концентрацией 0,5% и 1,1% рисунок 3.3.

Рисунок 3.3 – Изменение прочности контактного шва в зависимости от концентрации модификатора Стахемент-2010



Прочность прослойки с модификатором и без показана на рисунке 3.4.

Рисунок 3.4 – Изменение прочностных характеристик прослойки с различными составами

На основании полученных результатов экспериментального сопротивления сдвигу можно сделать вывод, что применение прослоек на основе модифицированных цементных систем увеличивает прочность контактного шва почти в 2 раза по сравнению с образцами без прослоек (рисунок 3.5).

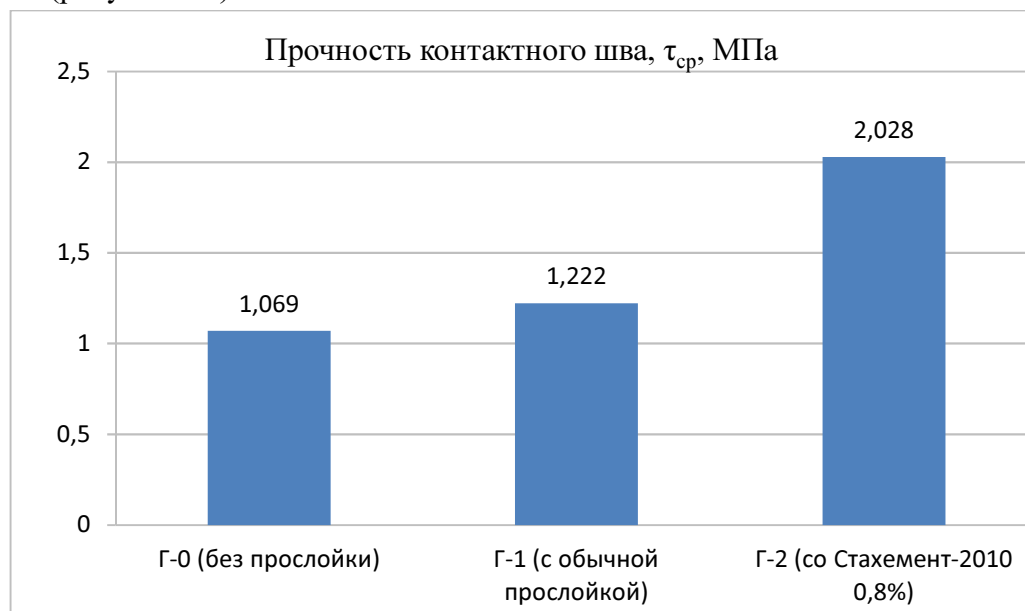


Рисунок 3.5 Изменение прочности контактного шва с различными составами.

Как видно из гистограммы на рисунке 3.5, прочность контактного шва образцов группы Г-1 по сравнению с образцами серии Г-0 (без прослойки) увеличилась на 14,3%. Прочность контактного шва образцов группы Г-2, по сравнению с образцами серии Г-0 (без прослойки), увеличилась на 89,7% и на 65,9%, по сравнению с образцами серии Г-1

(обычной цементно-песчаной прослойкой). На основании вышесказанного можно заключить, что применение цементно-песчаной прослойки с использованием Стахемент-2010 (0,8%) является наиболее целесообразным и может значительно улучшить сцепление бетонных элементов.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3:

1. Применение прослоек из цементных систем увеличивает прочность контактного шва на 14,3%, по сравнению с образцами без прослойки.
2. Образцы с прослойкой, модифицированной Стахемент-2010 (0,8%), увеличивают прочность контактного шва на 89,7%, по сравнению с образцами без прослойки и на 65,9%, по сравнению с образцами с обычной прослойкой из цементных систем.
3. ТКП EN 1992-1-1-2009 не в полной мере позволяет рассчитывать сопротивление сдвигу контактного шва (рассчитанные значения отличаются от экспериментальных более чем в 2 раза).
4. Необходима разработка национальных приложений в части расчета подобных конструкций с прослойкой.
5. В первом приближении в качестве типового решения можно применить:
 - 1) Необходима дополнительная корректировка коэффициента c .
 - 2) При расчете нормативного сопротивления контактного шва срезу (сдвигу), в формуле $V_{rk} = c f_{ctk,0,05}$ необходимо использовать дополнительный поправочный коэффициент S , учитывающий работу составной конструкции с обычной и с модифицированной прослойкой. Так, для конструкций без прослоек и конструкций с обычной цементно-песчаной прослойкой, рекомендуется принимать коэффициент $S=1$ (расчет ведем по бетону наименьшего класса); для модифицированных прослоек принимаем $S=2$, $f_{ctk,0,05}$ берем для наименьшего бетона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Применение прослоек вместо модифицированных бетонов позволяет, во-первых, решить вопрос усадки, т.к. создает своего рода демпфер между старым и новым бетоном, а во-вторых количество модификатора в прослойки может быть меньше, чем в конструкции и здесь будет иметь место существенная экономия модификатора.
2. Наличие обычной цементно-песчаной прослойки в зоне сцепления образцов благоприятно сказывается на прочности сцепления контактного шва. Прочность контактного шва повышается в среднем на 14,3% по сравнению с образцами без прослойки.
3. Прослойки, модифицированные Стахемент-2010, повышают прочность контактного шва на 65,9% по сравнению с обычной цементно-песчаной прослойкой (без модификатора) и на 89,7% по сравнению с образцами без прослойки. Это связано с тем, что цементно-песчаная прослойка со Стахемент-2010 имеет более однородную и плотную структуру, что в свою очередь и приводит к повышению прочности контактного шва.
4. ТКП EN 1992-1-1-2009 не позволяет рассчитывать такого рода конструкции (расчетные значения отличаются от экспериментальных более чем в 2 раза). Необходима разработка национальных приложений в части расчета подобных конструкций с прослойкой.
5. В первом приближении в качестве типового решения можно применить:
 - 1) Необходима дополнительная корректировка коэффициента c .
 - 2) При расчете нормативного сопротивления контактного шва срезу (сдвигу), в формуле $V_{rk} = c f_{ctk,0,05}$ необходимо использовать дополнительный поправочный коэффициент S , учитывающий работу составной конструкции с обычной и с модифицированной прослойкой. Так, для конструкций без прослоек и конструкций с обычной цементно-песчаной прослойкой, рекомендуется принимать коэффициент $S=1$ (расчет ведем по бетону наименьшего класса); для модифицированных прослоек принимаем $S=2$, $f_{ctk,0,05}$ берем для наименьшего бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гвоздев А.А., Васильев А.П., Дмитриев С.А. Изучение сцепления нового бетона со старым в стыках сборных железобетонных конструкций и рабочих швах.- М.: ОНТИ ЦНИЛС, 1936.- 36 с.
2. Pedro M. D. Santos, Eduardo N. B. S. Júlio. Factors affecting bond between new and old concrete - Article in *Ací Materials Journal*. July 2011
3. Юнг В.М., Бутт Ю.М. Основы технологии вяжущих веществ.- М: Стройиздат, 1975.- 112 с
4. Хаютин Ю.Г. монолитный бетон: (Технология производства работ).- М.: Стройиздат, 1981.- 447 с
5. Мацкевич А.Ф. Несъемная опалубка монолитных железобетонных конструкций.-М.: Стройиздат, 1986.- 96 с.
6. Азимов Ф.И. Торкретные работы.- М.: Стройиздат, 1979.- 71 с.
7. Проектирование железобетонных сборно-монолитных конструкций./ Справочное пособие к СНиП 2.03.84*. Н.-И., проет-конструкт. и технологич. ин-т бетона и железобетона.- М.: Стройиздат, 1991.- 69 с.
8. Руководство по конструкциям опалубок и производству опалубочных работ/ Центр н.-и. и проект. эксперимент. ин-т организации, механизации и технической помощи строительству Госстроя СССР.- М.: Стройиздат, 1983.- 501 с.
9. Евдокимов Н.И., Мацкевич А.Ф., Сытник В.С. Технология монолитного бетона и железобетона: Учеб. пособие для строительных вузов. М.: Высш. школа. 1980.- 335 с.
10. Никитин А.С. Влияние возраста бетона несъемной опалубки на сцепление ее с монолитным бетоном конструкции// Бетон и железобетон.- 1992.- №9.- С.15.
11. Байков В.М., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: 5-ое изд., перераб. и доп.- М.: Стройиздат, 1991.- 766 с.
12. Реконструкция промышленных предприятий. Под ред. Топчия В.Д., Гребенника Р.А.-М.: Стройиздат, 1990.- 591 с.
13. Долгих А.Н. Метод безопалубочного бетонирования ответственных сооружений// Труды молодых специалистов Полоцкого гос. ун-та, Строительство».- 2007.- №22, - С. 64-66.
14. Михайлов И.В., Юрьев Н.Б. Склеивание бетонных и железобетонных конструкций цементным клеем// Автомобильные дороги.- 1991.- №3.- С.9-11.
15. Микульский В.Г. Некоторые вопросы по обеспечению надежного сцепления нового бетона со старым в сборном строительстве// Тез. доклад на XXI науч.-техн. конф.-М, 1962.- С. 32.
16. СТБ 1112-98 Добавки для бетонов. Общие технические условия. Взамен ГОСТ 24211-91.Введ. 01.01.1999 – Минск: Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. – 23с.
17. Калитуха В. В. Прочность контактного шва железобетонных составных конструкций: Автореф. маг.дис. ...маг. тех. наук: -Новополоцк, 2017г
18. Хаменок Е.В. Прочность контактного шва железобетонных составных конструкций: Автореф. маг.дис. ...маг. тех. наук: -Новополоцк, 2008г

19. Чикалина О.П. Усиление железобетонных конструкций намоноличиванием с применением модифицированных бетонов: Автореф. маг. дис. ...магистра тех. наук: 05.23.01 – Новополоцк, 2003г.
20. Е. В. Хаменок, Е. Г. Кремнева. Контактные швы в железобетонных составных конструкциях -Вестник ПГУ. Серия F 2011г.
21. Хаменок Е.В. Представлено: к.т.н., доц. Кремнёва Е.Г. «Особенности подготовки контактных швов в строительстве», «Труды молодых специалистов Полоцкого государственного университета. Строительство». Выпуск №22, 2007г.
22. Юкневичюте Я.А., Багочюнас В.М. О прочности старого и нового бетона с суперпластификатором С-3// Бетон и железобетон.- 1986.-№2.-33с.
23. Юкневичюте Я.А., Багочюнас В.М. О прочности старого и нового бетона с суперпластификатором С-3// Бетон и железобетон.- 1986.-№2.-33с.
24. Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. – М.: Казанский Государственный архитектурно-строительный университет. 2006г. – 244с.
25. Юхневский П.И. Влияние химической природы добавок на свойства бетонов. – Минск: БНТУ, 2013г. – 310с.
26. Nak-Chul Shin, Zhifu Wan. Interfacial properties between new and old concretes. Department of Civil and Environmental Engineering, 3507 Patrick Taylor Hall, Louisiana State University
27. Pedro M. D. Santos, Eduardo N. B. S. Júlio, Victor D. Silva. Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of substrate surface. Departament of Civil Engineering, Polytechnic Institute of Castelo Branco; Departament of Civil Engineering, University of Coimbra, Portugal. 2006
28. ГОСТ 310.1-76 Цементы. Методы испытаний. Общие положения. Взамен ГОСТ 310-60 в части общих положений; Введ 01.01.78.- М.: Изд-во стандартов, 1985.- 2 с.
29. ГОСТ 8269.0-97 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.- Взамен ГОСТ 8267-75; Введ. 01.01.94.- Мн.: Минстройархитектура РБ, 1998.- 10 с.
30. ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия.- Взамен. ГОСТ 8736-95, ГОСТ 26193-84; Введ. 01.01.96.- Мн.: Минстройархитектура РБ, 1995.- 12 с.
31. СТБ 1114-98 Вода для бетонов и растворов. Технические условия.- Взамен ГОСТ 23732-79; Введ. 01.01.99.- Мн.: Минстройархитектура РБ, 1998.- 12 с.
32. Гольшев А.Б., Бачинский В.Я., Полищук В.П. Железобетонные конструкции. Том I. Соппротивление железобетона. – Киев. 2001.
33. Выбор схемы испытаний составных бетонных конструкций для определения прочности контактного шва. В.В. Калитуха, А.А. Иванов, (представлено к.т.н., доцент Е.Г. Кремнёва)
34. ТКП EN 1992-1-1-2009 (02250) Проектирование железобетонных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий